

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Níveis de Ruído no Interior de Trens  
Metropolitanos - Caso São Paulo**

Autora: Jacqueline de Toledo Lage

**Campinas, S.P.  
2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

# **Níveis de Ruído no Interior de Trens Metropolitanos - Caso São Paulo**

Autora: Jacqueline de Toledo Lage

Orientador: Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima de Paiva

Dissertação de mestrado apresentada à comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Transportes.

**Campinas, S.P.  
2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Níveis de Ruído no Interior de Trens  
Metropolitanos - Caso São Paulo**

Autora: Jacqueline de Toledo Lage

**Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:**

Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima de Paiva  
Presidente e Orientador / Unicamp

Prof. Dr<sup>a</sup>. Stelameris Rolla Bertoli  
Unicamp - Campinas

Prof. Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina Fogliatti de Sinay  
Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro

Campinas, 24 de fevereiro de 2003

## DEDICATÓRIA

*À minha mãe e  
à memória de meu pai.*

## **AGRADECIMENTOS**

- Ao meu Orientador , Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima de Paiva, por ter confiado na minha capacidade de realização, pela sua orientação neste trabalho e pela sua amizade;
- À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Stelamaris Rolla Bertolli, por ter me ensinado todos os segredos da acústica, me orientado nos levantamentos e pelo carinho dedicado;
- Às Prof<sup>as</sup> Dr<sup>as</sup> Maria Lúcia Galves e Maria Teresa Françoso, pelo carinho da amizade, além dos conhecimentos transmitidos;
- À funcionária Paula, da Secretaria da Pós-graduação, por sua dedicação e paciência;
- Aos colegas da pós-graduação, Gustavo, Patrícia, Luís, Cleide e Adriana, pela amizade, ajuda e carinho dispensados;
- À CPTM, que concedeu as horas de estudo para que eu pudesse realizar este trabalho, durante três anos;
- Aos colegas de trabalho da CPTM e do Metrô, que me ajudaram e incentivaram neste trabalho;
- À minha família, pelo apoio em todas as horas.

*"Mestre não é quem sempre ensina, mas quem, de repente, aprende."*

*João Guimarães Rosa*

## ÍNDICE

## Página

Relação de Figuras .....	x
Relação de Fórmulas .....	xii
Relação de Gráficos .....	xiii
Relação de Tabelas .....	xiv
Relação de Abreviaturas, Símbolos e Unidades .....	xviii
Resumo .....	xx
1 Introdução .....	1
1.1 Considerações Iniciais .....	1
1.2 Objetivos .....	3
1.3 Escopo .....	3
1.4 Importância do Trabalho .....	4
1.5 Atividades do Trabalho .....	5
2 Os Meios de Transporte e o Ruído Gerado .....	7
2.1 Os Meios de Transporte .....	7
2.2 Rodoviário .....	8
2.3 Aeroviário .....	11
2.4 Hidroviário .....	13
2.5 Ferroviário .....	16
2.5.1 Conceitos Básicos sobre Ferrovia e Via Permanente .....	16
2.5.2 Veículos Ferroviários .....	27

3	Aspectos Gerais do Ruído e Conceitos Fundamentais de Acústica .....	31
3.1	A Natureza do Som .....	31
3.2	Propriedades do Som .....	32
3.3	Magnitudes Acústicas .....	34
3.4	Espectro de Frequência .....	37
3.5	Bandas de Frequência de Oitava e de 1/3 de Oitava .....	37
3.6	Propagação Sonora .....	39
3.7	Absorção Aérea .....	41
3.8	Escalas de Ponderação de Pressão Sonora .....	43
3.9	Medição Sonora .....	43
3.10	Curvas de Ponderação Sonora .....	45
4	O Ruído no Transporte em Geral e suas Conseqüências .....	47
4.1	Aspectos Gerais do ruído Gerado pelos Meios de Transporte .....	47
4.2	O Ruído Ferroviário .....	53
4.3	Normas e Legislações para Ruídos Ferroviários .....	57
4.4	Alguns Métodos para Previsão do Ruído Ferroviário .....	65
4.5	Os Efeitos do Ruído de Transporte sobre o Ser Humano .....	67
4.5.1	Generalidades .....	67
4.5.2	Efeitos sobre a Saúde .....	68
4.5.3	Efeitos do Ruído sobre o Sono e sobre as Atividades Diárias .....	71
4.5.4	Perturbação .....	73
5	Estudo da Exposição do Passageiro Embarcado ao Ruído .....	76
5.1	Passageiro Aeroviário .....	76
5.2	Passageiro Rodoviário .....	80
5.3	Passageiro Ferroviário .....	83
6	O Experimento - Medição do Ruído no Interior dos Trens Metropolitanos .....	94
6.1	Condições Gerais .....	94
6.2	Metodologia .....	95
6.2.1	Levantamento das Linhas .....	95
6.2.2	Caracterização do Material Rodante .....	99
6.2.3	Escolha do aparelho de Medição .....	101
6.2.4	Medições do Ruído .....	103

7	Análise dos Resultados Obtidos.....	106
7.1	Linha 1 - Azul, Norte - Sul, Metrô de São Paulo .....	106
7.2	Linha 2 - Verde, Ana Rosa - Via Madalena, Metrô de São Paulo .....	114
7.3	Linha C, Osasco - Jurubatuba, CPTM .....	126
7.4	Conclusões sobre o Experimento .....	133
8	Sugestões para Futuras Pesquisas e Conclusão Geral .....	138
	Referências Bibliográficas .....	141
	Bibliografia Consultada .....	149
	Abstract .....	151
	Apêndice A .....	152
	Glossário .....	156

## RELAÇÃO DE FIGURAS

Nº	Figura	Página
1.1	Representação Esquemática das Atividades do Presente Trabalho ...	6
2.1	Assinatura Acústica de um Navio de grande porte .....	15
2.2	Seção Transversal de uma Via Férrea, em Tangente .....	18
2.3	Dormente Monobloco de Concreto Protendido, vistas: Lateral, Superior e Transversal .....	19
2.4	Dormente Bi-bloco de Concreto .....	20
2.5	Dormente de Aço, vistas: Lateral e Superior .....	20
2.6	Perfil de um Trilho Vignoli tipo - TR 57 .....	21
2.7	Componentes de um Conjunto de Fixação de Trilho para um Sistema de Via com Fixação Elástica sem Massa Mola.....	22
2.8	Foto de Um Aparelho de Mudança de Via - AMV, numa via em Lastro com Dormentes de Concreto Monobloco .....	24
2.9	Produção de Ruído pelo Contato Roda / Trilho, num trilho corrugado.....	26
3.1	Absorção do Ar [dB/100 m], em função da Umidade Relativa .....	42
3.2	Curvas de Ponderação Sonora: A, B, C e D .....	45
6.2.1	Mapa das Linhas dos Transportes Metropolitanos de São Paulo .....	98
6.2.2	Foto do Aparelho <i>Decibelímetro 2238, Mediator</i> .....	103
7.1	Distribuição dos Carros na Composição, Linha 1 - Metrô .....	106

7.2.1	Distribuição dos Carros na Composição da Série MAFERSA, Linha 2 - Metrô .....	114
7.2.2	Distribuição dos Carros na Composição da Série MILÊNIO, Linha 2 - Metrô .....	119
7.3	Distribuição dos Carros na Composição, Linha C - CPTM .....	127

## RELAÇÃO DE FÓRMULAS

<b>Nº</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Página</b>
3.1	Comprimento de Onda .....	32
3.2	Velocidade do Som no Ar .....	33
3.3	Nível de Pressão Sonora .....	34
3.4	Intensidade Sonora .....	35
3.5	Nível de Intensidade Sonora .....	36
3.6	Nível de Potência Sonora .....	36
3.7	Relação entre Intensidade Sonora e Distância .....	40
3.8	Nível de Intensidade Sonora para uma Fonte Puntiforme.....	40
3.9	Nível de Intensidade Sonora com Índice de Diretividade.....	40
3.10	Nível de Intensidade Sonora de uma Fonte apoiada numa superfície altamente reflexiva .....	40

## RELAÇÃO DE GRÁFICOS

<b>Nº</b>	<b>Gráfico</b>	<b>Página</b>
7.1.1	Carro 1, Linha 1 - Metrô .....	110
7.1.2	Carro 3, Linha 1 - Metrô .....	110
7.1.3	Carro 4, Linha 1 - Metrô .....	111
7.1.4	Carro 6, Linha 1 - Metrô .....	111
7.2.1	Carro 1 - MAFERSA - Linha 2 - Metrô .....	116
7.2.2	Carro 2 - MAFERSA - Linha 2 - Metrô .....	116
7.2.3	Carro 3 - MAFERSA - Linha 2 - Metrô .....	117
7.2.4	Carro 4 - MAFERSA - Linha 2 - Metrô .....	117
7.2.5	Carro 5 - MAFERSA - Linha 2 - Metrô .....	118
7.2.6	Carro 6 - MAFERSA - Linha 2 - Metrô .....	118
7.2.7	Carro 1 - MILÊNIO - Linha 2 - Metrô .....	121
7.2.8	Carro 2 - MILÊNIO - Linha 2 - Metrô .....	121
7.2.9	Carro 3 - MILÊNIO - Linha 2 - Metrô .....	122
7.2.10	Carro 4 - MILÊNIO - Linha 2 - Metrô .....	122
7.2.11	Carro 5 - MILÊNIO - Linha 2 - Metrô .....	123
7.2.12	Carro 6 - MILÊNIO - Linha 2 - Metrô .....	123
7.3.1	Carro 1 - ESPANHOL - Linha C - CPTM .....	129
7.3.2	Carro 2 - ESPANHOL - Linha C - CPTM .....	129
7.3.3	Carro 3 - ESPANHOL - Linha C - CPTM .....	130

## RELAÇÃO DE TABELAS

<b>Nº</b>	<b>Tabela</b>	<b>Página</b>
2.1	Nível de Ruído de Diferentes Classes de Veículos Urbanos a 7,5 m de Distância .....	10
3.1	Velocidade do Som em Materiais Diversos .....	33
3.2	Propriedades do Som no Ar .....	33
3.4	Frequências utilizadas em medidas acústicas [Hz] .....	38
4.1	População exposta ao ruído rodoviário em alguns países .....	69
4.2	Ruído de Tráfego Urbano na Cidade de São Paulo – Brasil .....	75
5.1	Ruído no Interior da Cabine de Aeronaves .....	77
5.2	Ruído Médio no Interior da Cabine de Aeronaves, em Velocidade de Cruzeiro .....	78
5.3	Ruído Estrutural Médio no Interior de Carros de Passageiros ....	81
5.4	Ruído Médio do Motor no Interior de Carros de Passageiros .....	81
5.5	Ruído Médio no Interior de Ônibus Urbanos da Cidade de Belo Horizonte - Brasil .....	83
5.6	Níveis de Conforto Acústico para o Ouvido Humano .....	83
5.7	Níveis de Ruído Medidos na Cidade de São Paulo e Valores de Referência Internacionais .....	84
5.8	Linha 2, Ana Rosa – Clínicas do Metrô de São Paulo .....	85

5.9	Linha 1, Norte – Sul do Metrô de São Paulo .....	86
5.10	Linha 3, Leste - Oeste do Metrô de São Paulo .....	87
5.11	Variação dos Níveis de Pressão Sonora nas Linhas do Metrô de São Paulo .....	88
5.12	Média, Variância e Número de Amostras do Nível de Pressão Sonora em dB(A), feitas no interior da Composição Mk 4, a 200 km/h .....	89
5.13	Nível de Pressão Sonora no interior do ICE em dB(A) .....	91
5.14	Nível de Pressão Sonora em dB(A) e Nível de Vibração em dB(V) .....	91
5.15	Nível de Pressão Sonora Equivalente Leq dB(A) na Cabina de Comando .....	92
5.16	Nível de Pressão Sonora Equivalente Leq dB(A) Interno e Externo .....	93
6.2.1	Características Construtivas das Linhas .....	99
6.2.2	Frota de Trens do Metrô de São Paulo, Ficha Técnica .....	99
6.2.3	Ficha Técnica do Trem "Espanhol" da CPTM, Série 2100 .....	100
6.2.4	Parâmetros de Calibração do Decibelímetro 2238 <i>Mediator</i> .....	102
7.1.1	Carro 1, trafegando pela Via 2 da Linha 1 do Metrô de São Paulo .....	107
7.1.2	Resumo dos Resultados dos Carros 1 e 3, Linha 1 - Metrô de São Paulo .....	109
7.1.3	Resumo dos Resultados dos Carros 4 e 6, Linha 1 - Metrô de São Paulo .....	110
7.1.4	Características Construtivas da Via Permanente e o Nível de Pressão Sonora Equivalente, Linha 1 - Metrô de São Paulo .....	111
7.2.1	Carro 1, Série Mafersa, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	115
7.2.2	Resumo dos Resultados dos Carros 1 e 2 da Série MAFERSA, Linha 2 - Metrô de São Paulo .....	116
7.2.3	Resumo dos Resultados dos Carros 3 e 4 da Série MAFERSA, Linha 2 - Metrô de São Paulo .....	117

7.2.4	Resumo dos Resultados dos Carros 5 e 6 da Série MAFERSA, Linha 2 - Metrô de São Paulo .....	118
7.2.5	Carro 1, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	119
7.2.6	Resumo dos Resultados dos Carros 1 e 2 da Série MILÊNIO, Linha 2 - Metrô de São Paulo .....	121
7.2.7	Resumo dos Resultados dos Carros 3 e 4 da Série MILÊNIO, Linha 2 - Metrô de São Paulo .....	122
7.2.8	Resumo dos Resultados dos Carros 5 e 6 da Série MILÊNIO, Linha 2 - Metrô de São Paulo .....	123
7.2.9	Características Construtivas da Via Permanente e o Nível de Pressão Sonora Equivalente, Linha 2 - Metrô de São Paulo .....	125
7.3.1	Carro 3, Série 2100, trafegando pelas Vias V1S e V2S, Linha C da CPTM .....	127
7.3.2	Resumo dos Resultados dos Carros 1 e 2, Linha C - CPTM .....	129
7.3.3	Resumo dos Resultados do Carro 3, Linha C - CPTM .....	130
7.3.4	Características Construtivas da Via Permanente e o Nível de Pressão Sonora Equivalente, Linha C - CPTM .....	131
7.1.5	Carro 3, trafegando pela Via 1 da Linha 1 do Metrô de São Paulo .....	152
7.1.6	Carro 6, trafegando pela Via 2 da Linha 1 do Metrô de São Paulo .....	154
7.1.7	Carro 4, trafegando pela Via 1 da Linha 1 do Metrô de São Paulo .....	155
7.2.10	Carro 1, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	156
7.2.11	Carro 2, Série Mafersa, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	157
7.2.12	Carro 2, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	157
7.2.13	Carro 2, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	158

7.2.14	Carro 3, Série Mafersa, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	158
7.2.15	Carro 3, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	159
7.2.16	Carro 3, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	159
7.2.17	Carro 4, Série Mafersa, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	160
7.2.18	Carro 4, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	160
7.2.19	Carro 4, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	161
7.2.20	Carro 5, Série Mafersa, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	161
7.2.21	Carro 5, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	162
7.2.22	Carro 5, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	162
7.2.23	Carro 6, Série Mafersa, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	163
7.2.24	Carro 6, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	163
7.2.25	Carro 6, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo .....	164
7.3.5	Carro 1, Série 2100, trafegando pela Via V1S, Linha C da CPTM .....	164
7.3.6	Carro 2, Série 2100, trafegando pela Via V2S, Linha C da CPTM .....	165

## RELAÇÃO DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

$\lambda$	Comprimento de Onda
$\Delta$	Densidade do Ar
$^{\circ}\text{C}$	Graus Centígrados
AMV	Aparelho de Mudança de Via
$c$	Velocidade do Som no Ar
dB	Escala de Decibéis
dB(A)	Escala de Decibéis na Curva de Ponderação "A"
dB(V)	Escala de Decibéis, relativa ao ruído secundário oriundo de vibração
$f$	Frequência
[Hz]	Hertz - Frequência
I	Intensidade Sonora
[kHz]	Quilo Hertz - Frequência
[km/h]	Quilômetro por Hora - Velocidade
[kN]	Quilo Newton - Força
[kW]	Quilo Watts - Potência
LAeq	Nível de Pressão Sonora Equivalente na Curva de Ponderação "A"
LAmáx	Nível de Pressão Sonora Máximo na Curva de Ponderação "A"
LAmín	Nível de Pressão Sonora Mínimo na Curva de Ponderação "A"
LCpk	Nível de Pressão Sonora de Pico na Curva de Ponderação "C"
Ldn	Nível de Pressão Sonora Equivalente Diurno e Noturno

Leq	Nível de Pressão Sonora Equivalente
Leq(24)	Nível de Pressão Sonora Equivalente para um período de 24 horas
LI	Nível de Intensidade Sonora
Lmáx	Nível de Pressão Sonora Máximo
Lmín	Nível de Pressão Sonora Mínimo
Lp	Nível de Pressão Sonora Total
Lw	Nível de Potência Sonora
[m]	Metro - Comprimento
[m/s]	Metros por Segundo - Velocidade
[m/s <sup>2</sup> ]	Metro por Segundo ao Quadrado - Aceleração
[m <sup>2</sup> ]	Metro Quadrado - Área
MNS	Medidor de Nível Sonoro
[N/m <sup>2</sup> ]	Newton por Metro Quadrado - Pressão
p	Pressão Sonora
[Pa]	Pascal - Pressão
[s]	Segundos - Tempo
<i>SPL</i>	Nível de Pressão Sonora
[t]	Toneladas - Peso
TCS	Trilho Continuamente Soldado
TLS	Trilho Longo Soldado
TUE's	Trens Unidade Elétricos
W	Potência Sonora
[W]	Watt - Potência
[W/m <sup>2</sup> ]	Watt por Metro Quadrado - Intensidade

## **RESUMO**

Lage, Jacqueline de Toledo.

Estudo do Ruído no Interior dos Trens Metropolitanos de São Paulo e seu Efeito sobre os Passageiros.

Campinas, Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, 2003.

Dissertação de Mestrado.

A passagem das rodas do trem sobre os trilhos (contato roda/trilho) na frenagem, a aceleração, a inscrição nas curvas, a aproximação das estações e no interior dos túneis, provoca uma excitação na superestrutura da via, que, juntamente com as características do trecho, geram ruídos.

Esses ruídos são transmitidos por via aérea e estrutural para as vizinhanças e para o interior dos carros, podendo causar, dependendo da intensidade e do tempo de exposição, desconforto aos usuários e riscos à sua saúde.

Neste trabalho são medidos e avaliados os níveis de ruído gerado e transmitido dentro dos trens metro-ferroviários da cidade de São Paulo, aos quais o passageiro embarcado permanece exposto durante a viagem.

Através da avaliação e análise dos Níveis de Pressão Sonora (Lp) atuantes sobre os usuários embarcados, oriundos do tráfego de veículos metro-ferroviários em diferentes tipos de Via Permanente e trechos da Cia. do Metropolitano de São Paulo e da Cia. Paulista de Trens Metropolitanos de São Paulo, verificar-se-á quais as possíveis alternativas para minimizar os impactos negativos.

**Palavras Chave:** Ruído, Trens, Metrô, Ferrovia

# **1. INTRODUÇÃO**

## **1.1 Considerações Iniciais**

Considerando que o início do desenvolvimento de políticas ambientais voltadas para o abatimento do ruído gerado pelos sistemas de transportes, bem como de pesquisas relacionadas com o tema, surgiu há muito pouco tempo (final dos anos 70 e início dos anos 80), sabe-se que há muito por fazer ainda dentro dessa área, cuja prioridade foi dirigida ao transporte rodoviário, por ser aquele que atinge o maior número de pessoas em todo o mundo.

No setor ferroviário as pesquisas de ruído foram sendo implementadas pouco a pouco e os estudos nessa área vêm progredindo desde meados dos anos 80 e início dos anos 90.

Com a implantação de linhas de trem de alta velocidade no Japão e na Europa, a partir dos anos 80, não mais se pôde ignorar o problema do ruído ferroviário, em virtude do impacto ambiental causado por esse tipo de sistema.

Antes de iniciarem seus estudos investigando as melhores soluções para esse abatimento, pesquisadores precisaram equacionar o problema, recorrendo à coleta de dados e a tomadas de medidas de ruído externas, isto é, na parte externa dos trens e na lateral das vias ferroviárias.

Na década de 90, com esses dados já trabalhados, deram seqüência à implementação de normas sobre ruídos e componentes ferroviários, especialmente na Europa, bem como ao aprofundamento das pesquisas para identificação das origens do ruído ferroviário e seus mecanismos de atuação.

Esses conhecimentos propiciaram uma atuação direta sobre a fonte do ruído, não se atendo somente à adoção de medidas mitigadoras e compensatórias ou ao uso de barreiras acústicas e a proteção acústica dos receptores (edificações).

E, como previsto, as pesquisas evoluíram para outros sistemas de transportes sobre trilhos, abrangendo trens de carga, trens urbanos, trens de média velocidade (entre 100 Km/h e 180 km/h) e trens subterrâneos, os metrôs.

A grande maioria dessas pesquisas se concentra na transmissão e efeitos do ruído sobre comunidades lindeiras às ferrovias e edificações vizinhas, no que tange ao transporte urbano. A escassez de material de pesquisa relacionada com o passageiro embarcado nos trens metropolitanos não significa que o tema não seja relevante; mas sim que outros tipos de trens foram priorizados até agora, pelo incômodo que causam à população: os trens de carga e os trens de alta velocidade.

## **1.2 Objetivos**

O objetivo deste trabalho é estudar o ruído no interior dos trens metropolitanos, levantar os estudos realizados e, a partir deles, medir e avaliar o ruído no interior dos carros de trens metro-ferroviários da Região Metropolitana de São Paulo, durante a sua circulação em diferentes tipos de via permanente.

As propostas deste estudo são: a) verificar quais trechos da via permanente produzem menor e maior ruído dentro da composição e, após a avaliação, determinar as causas; avaliar a influência da posição do carro na composição do trem e do usuário no seu interior, no que se refere à transmissibilidade e nível de exposição sonora, comparando os resultados com estudos anteriores; b) aprofundar os estudos realizados anteriormente, centrados na linha mais ruidosa do Metrô de São Paulo, e estabelecer uma diretriz para a continuidade das pesquisas, em vista das necessidades e dificuldades aqui evidenciadas.

## **1.3 Escopo**

Analisar e avaliar o ruído através da medição dos Níveis de Pressão Sonora ( $L_p$ ), oriundos do tráfego de veículos metro-ferroviários em diferentes tipos de via permanente e de trechos da Companhia do Metropolitano de São Paulo – METRÔ e da Companhia de Trens Metropolitanos de São Paulo – CPTM, atuantes sobre o usuário embarcado, visando melhorar o conforto acústico dos passageiros dos sistemas metro-ferroviários da cidade de São Paulo.

## 1.4 Importância do Trabalho

A escolha do trabalho baseou-se na necessidade de expandir o conhecimento na área de ruído em ferrovias brasileiras, especialmente nas de transporte de passageiros, uma vez que estudos dentro desse segmento, desenvolvidos no Brasil, são escassos, o que resulta em inexistência de dados consistentes para orientar projetistas, pesquisadores e empresas operadoras.

O tema "Níveis de Ruído no Interior de Trens Metropolitanos - Caso São Paulo" é viável de ser efetuado, mediante a proposta desta pesquisa; é relevante porque acrescenta novos conhecimentos; é oportuno, pois está sintonizado na preocupação global com o homem e o meio ambiente; é atual, uma vez que pode gerar um novo enfoque e novas soluções, muito adequados ao presente estágio da evolução científica, que, através dele, poderia vir a contar com conclusões válidas para equacionar e explicar a realidade dos fatos existentes.

Atualmente as preocupações com as conseqüências da poluição ambiental sobre o ser humano e o próprio meio vêm gerando grande discussão e impacto mundial; novas leis são aprovadas, restringindo-se cada vez mais os níveis de poluição permitidos em todos os segmentos, inclusive no controle da emissão de ruídos.

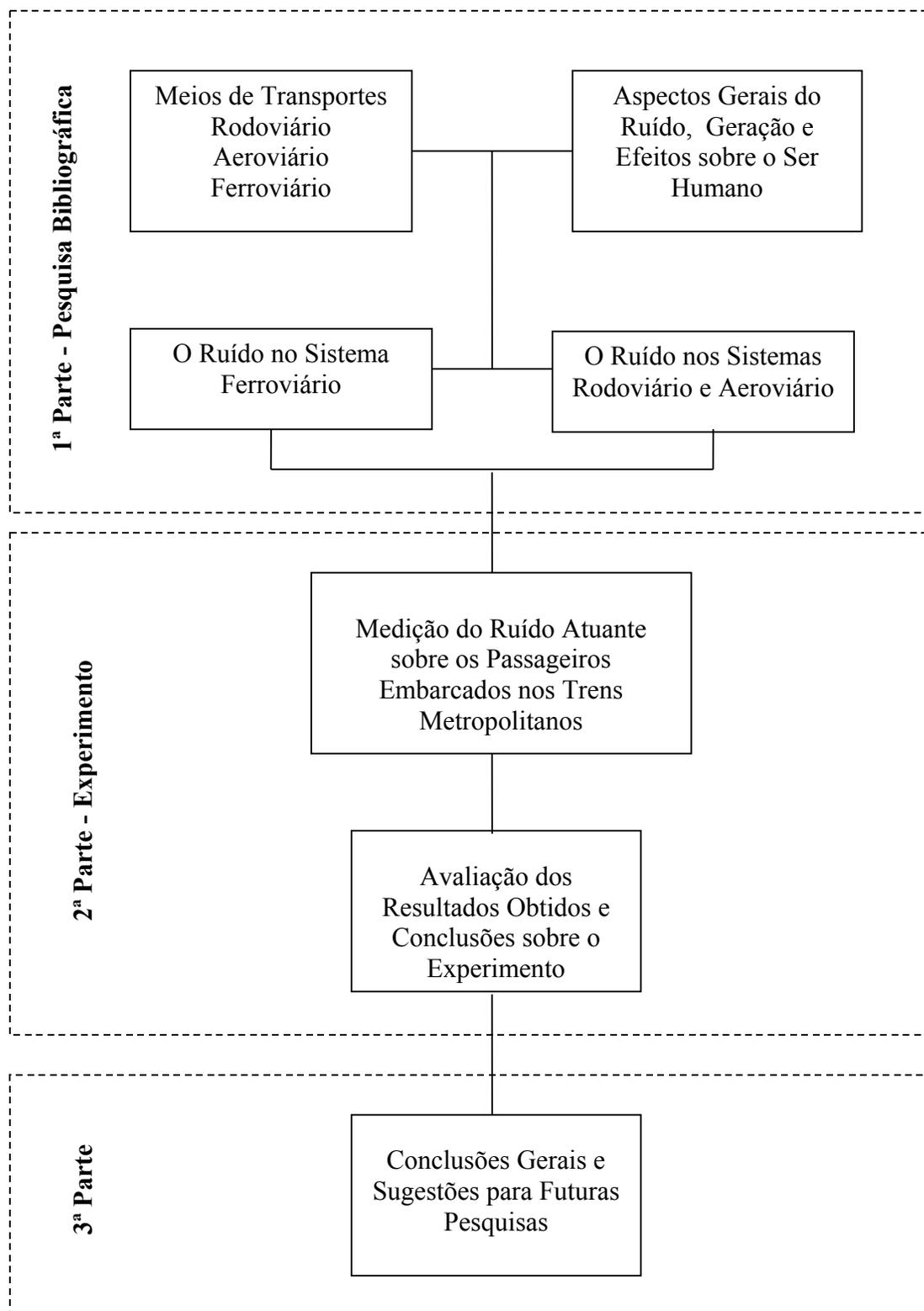
Os conceitos de qualidade de vida e de empresa cidadã imperam nas decisões técnicas de novos projetos; esses conceitos vão se tornando mais abrangentes e exigem o desenvolvimento de novas tecnologias que garantam segurança, conforto, funcionalidade, eficiência e, o mais importante, a saúde da população, que, neste caso, vem a ser a população dos usuários dos trens metropolitanos de São Paulo.

## 1.5 Atividades do Trabalho

O desenvolvimento deste trabalho foi dividido em três partes: a primeira, onde estão compilados dados e informações pertinentes, disponíveis na literatura técnica especializada, e evidenciados os conceitos básicos sobre acústica e ferrovia, com vistas a ilustrar e facilitar a compreensão do tema; a segunda, onde são relatadas informações concernentes ao experimento proposto, metodologia, levantamentos, análise dos resultados obtidos e conclusões sobre o experimento; e a terceira, onde são apresentadas conclusões gerais e sugestões para futuras pesquisas.

A primeira parte está contida nos capítulos 1 a 5, a segunda nos capítulos 6 e 7 e a terceira nos capítulo 8.

As atividades do trabalho estão resumidas na representação esquemática da figura 1.1.



**Figura 1.1** - Representação Esquemática das Atividades do Presente Trabalho

## **2. OS MEIOS DE TRANSPORTE E O RUÍDO GERADO**

### **2.1 Os Meios de Transporte**

Os meios de transportes caracterizam-se pelo tipo de veículo e pelo tipo de via utilizados no deslocamento de pessoas e de cargas de um ponto a outro, origem e destino.

A via é o meio físico onde se dá o deslocamento e o veículo é o meio que contém objetos e pessoas deslocadas. O sistema veículo/via define a modalidade do transporte ou modal.

Os principais meios de transporte são:

- Rodoviário;
- Aeroviário;
- Ferroviário;
- Hidroviário.

O ruído proveniente dos transportes é gerado principalmente pelo sistema de propulsão do veículo (motor, turbina) e pelo atrito com o meio (veículo/ar) e com a via (contato pneu/pavimento), durante o seu deslocamento e em função da velocidade, e se expande na área ao redor do veículo em deslocamento.

Os sistemas do tipo hidroviário produzem ruídos, cujos impactos já começam a ser estudados, e são considerados por muitos como sendo insignificantes, enquanto que o sistema aeroviário produz ruídos expressivos, de grande magnitude, sobretudo, nas proximidades dos aeroportos. Nos sistemas terrestres, rodoviário e ferroviário, todo o ruído gerado pelo deslocamento destes veículos é propagado para as áreas circunvizinhas às suas faixas de domínio.

## **2.2 Rodoviário**

É a modalidade de transporte em que os veículos utilizados são os automóveis, ônibus, utilitários e caminhões, e as vias são as rodovias, pavimentadas ou não GUIMARÃES (21).

O modal rodoviário caracteriza-se também por ser um transporte de média e longa distância e de cargas com médio valor agregado; pode ser “porta a porta”, quanto à sua origem e destino, e possui grande variedade de veículos automotores. A fonte de energia utilizada por esses veículos é primária e seus motores podem ser oriundos da combustão interna (mais comum) ou elétricos.

O ruído de tráfego rodoviário resulta do somatório coletivo do ruído produzido por cada veículo individualmente. Esses veículos variam consideravelmente, dependendo do

tipo e modo de operação. Carros de passeio formam o maior grupo e a vasta maioria desse grupo é constituída de motores a gasolina ou diesel. Veículos de carga são geralmente movidos a diesel, com motores na faixa de 50 a 250 KW de potência, e possuem uma capacidade de carga que geralmente varia de 3,5 a 38 toneladas. Entre essas duas categorias existem ainda os veículos leves de carga, do tipo *peruas* e *pickups*, que podem ser movidas a gasolina ou diesel, e, por fim, as motocicletas, em número bem menor, NELSON (46).

O ruído gerado por cada veículo depende basicamente dos seguintes fatores:

- tipo e classe do veículo (carros, caminhões, ônibus, motocicletas, etc.);
- qualidade e quantidade de medidas de controle de ruídos utilizadas no projeto dos veículos;
- condições mecânicas de funcionamento dos veículos (desgaste dos componentes, condição do silenciador de exaustão, escapamento, sincronismo das engrenagens, etc.);
- modo de operação do veículo (velocidade constante, aceleração, desaceleração, equipamentos existentes no veículo, etc.);
- condições da superfície de rolamento, do pavimento e dos pneus;
- condições de propagação sonora (obstáculos reflexivos, absorventes, etc.).

Vários estudos já demonstraram que, em termos de emissão de ruído, os carros de passeio, apesar de mais numerosos, são mais silenciosos. Depois destes se encontram os ônibus e os caminhões de até 3,5 t, seguidos das motocicletas. Por último, estão os caminhões mais pesados, com mais de 3,5 t, *Ibid.* (46).

No Brasil este fator é agravado devido à grande parte do transporte de carga ser efetuado por meio rodoviário, somado as condições do pavimento das estradas e das

idades e da falta de uma legislação eficaz, tanto para a produção de veículos mais silenciosos quanto para o impedimento da circulação de veículos com emissões de ruído acima do nível permitido em áreas residenciais e na proximidade de hospitais, escolas, teatros, igrejas, etc.

Existe grande dificuldade em se aplicar medidas de redução de ruído na fonte quando o modal é rodoviário e a causa reside na falta de padronização de testes e ensaios de carros e caminhões, na legislação internacional, constatando-se também que os ensaios não representam a situação dos veículos e do tráfego nas vias urbanas e nas estradas, ROO (57).

**Tabela 2.1** - Nível de Ruído Emitido por Diferentes Classes de Veículos Urbanos a 7,5 m de Distância.

<b>Tipo de Veículo</b>	<b>L<sub>50</sub> [dB(A)]</b>	<b>L<sub>5</sub> [dB(A)]</b>
Bicicletas Motorizadas	73	82
Pequenas Motocicletas	82	88
Motocicletas	78	87
Carros com Motor a Gasolina	70,5	77
Carros com Motor Diesel	72	78
Caminhonetes com Motor a Gasolina	72,5	79
Caminhonetes com Motor Diesel	75	80,5
Ônibus	80	86
Caminhões com Motores ≤ 105 KW	79,5	85,5
Caminhões com Motores ≤ 150 KW	82,5	88,5
Caminhões com Motores > 150 KW	85	90,5

**Fonte:** *Transportation Noise Reference Book*, 1987, NELSON (46)

Onde:

L<sub>5</sub> é o Nível de Ruído excedido por 5 % das amostras e L<sub>50</sub> é o nível de ruído excedido por 50 % das amostras.

Os levantamentos da tabela 2.1 foram realizados fora do Brasil.

## 2.3 Aeroviário

É a modalidade de transporte na qual os veículos utilizados são as aeronaves e as vias são a atmosfera e os terminais aéreos (aeroportos).

O meio de transporte aeroviário caracteriza-se por ser um transporte de média e longa distância, de cargas com alto valor agregado e por ter muita flexibilidade, isto é, não possui uma única origem e destino. Distingue-se pela rapidez e pode transportar tanto cargas quanto passageiros.

As aeronaves podem ter vários tipos de propulsores. Os motores a jato podem ser classificados em duas categorias principais: turbojatos e turbofans. Os primeiros consistem de um compressor, uma câmara de combustão e uma turbina, e os segundos são um motor turbojato acrescido de lâminas de grande diâmetro, situadas geralmente à frente do compressor. Um outro tipo de propulsor utilizado nas aeronaves de passageiros é o turbohélice. Consiste de uma turbina a jato, que move uma hélice colocada à sua frente, e é muito utilizado por aeronaves de médio porte, que voam em faixa de velocidade de 400 a 600 km/h. E, por fim, há os motores a pistão de ciclo Otto, comuns em aeronaves pequenas e de uso privado, GUIMARÃES (21).

Segundo NELSON (46), o problema da perturbação devido ao ruído de aeronaves começou a difundir-se com a introdução dos motores a jato na aviação comercial no final dos anos 50. Desde a metade da década de 1960, a parte dominante do ruído nos aeroportos tem sido do crescimento dos vôos subsônicos comerciais e dos jatos particulares de pequeno porte ("Lear Jets"). Existem cerca de 7000 vôos comerciais/ano (passageiros), nos Estados Unidos da América, além de um igual número de vôos executivos e de transporte de cargas. Em contrapartida, os vôos de aeronaves com motores a propulsão tem se mantido substancialmente constante em número, pelos últimos 20 anos - em torno de 2000 vôos/ano -, enquanto que o número de vôos de helicópteros civis só agora começa a

ganhar mais adeptos, especialmente nos grandes centros urbanos, como Nova Iorque, nos Estados Unidos da América, e São Paulo, no Brasil.

O aumento dos vôos de jatos nos anos 60 acabou por promover uma reação generalizada por parte de legisladores americanos e ações públicas coletivas no Reino Unido, estabelecendo, assim, uma série de medidas para o controle de ruídos. Nos aeroportos de Heathrow, em Londres, e Kennedy, em Nova Iorque, foram impostos limites de ruído, que são freqüentemente monitorados. Em 1966, os Estados Unidos da América, o Reino Unido e a França introduziram um processo de aprovação para certificação de ruído nos tipos de medidas aeroviárias compensatórias. Conseqüentemente, a indústria aeronáutica implementou suas atividades de controle, de modo a atender uma nova legislação mais restritiva a partir de 1970.

Os aeroportos mais modernos dispõem hoje de sistema de embarque e desembarque de passageiros com túneis acopláveis às portas das aeronaves, que conduzem os passageiros para o interior dos terminais, evitando sua exposição ao ruído das aeronaves e dos demais equipamentos circulantes na área externa.

Porém, ainda existem aeroportos em que o avião estaciona numa posição remota e o passageiro deve se deslocar até a aeronave, ficando exposto ao ruído de outras aeronaves que têm seus motores em funcionamento.

O trabalho realizado nas duas décadas subseqüentes permitiu o conhecimento das fontes de ruído dos jatos e foi possível estabelecer seu controle.

O ruído produzido por aviões varia de acordo com sua categoria e tipo de propulsão. De maneira bem simplificada, pode-se assumir que o ruído produzido durante a aterrissagem e decolagem, em um raio de 152 m da aeronave, é, em média, de: 98 a 139 dB(A), para jatos grandes (Boeing 727-767, Air Bus A300-310) de passageiros; 86 a 121 dB(A), para jatos médios (Boeing 727-200, Folker 100); de 79 a 118 dB(A), para jatos executivos (Lear Jets); e de 86 a 102 dB(A), para helicópteros, NELSON (46).

## 2.4 Hidroviário

É a modalidade de transporte na qual os veículos utilizados são: as embarcações, os navios, os barcos e os comboios fluviais. Suas vias são: os mares, os rios, os canais e os lagos.

O modal hidroviário caracteriza-se por ser um transporte de média e longa distância e de cargas com baixo custo operacional, porém de alto peso (toneladas), tais como containeres e cargas a granel, GUIMARÃES (21).

Segundo FAS (13), para um navio existem as seguintes categorias de ruído:

- **Ruído Ambiente:** é a combinação de todos os ruídos provenientes do meio ambiente oceânico, ou seja, o mar, a fauna marinha e o navio.
- **Auto-Ruído:** é o ruído de fundo gerado pelo navio e seu sistema de sonar, que capta e classifica certos ruídos como sinais da maré. O auto-ruído é usado para descrever o efeito que um navio causa sobre o próprio sonar.
- **Ruído Irrradiado:** é o ruído gerado na estrutura do navio pelo sistema de propulsão e pelas máquinas auxiliares. Parte dessa energia é transmitida, através da estrutura do navio, para o casco, de onde, por sua vez, se transfere para a água. O ruído irradiado é usado para descrever o efeito que o navio causa nos sensores externos ao navio.

Alguns navios podem também irradiar energia sonora, através do sonar, para tentar encontrar submarinos; a combinação do ruído estrutural do navio e do ruído produzido pelo sonar formam a assinatura subaquática do navio. O ruído irradiado é o sinal acústico detectado pelos sonares passivos e permite que navios inimigos possam, além de detectar o

navio, interferir com os sonares de outros navios da frota que porventura estiverem servindo de escolta, FAS (13).

Dois são os tipos de fontes de ruído em um navio:

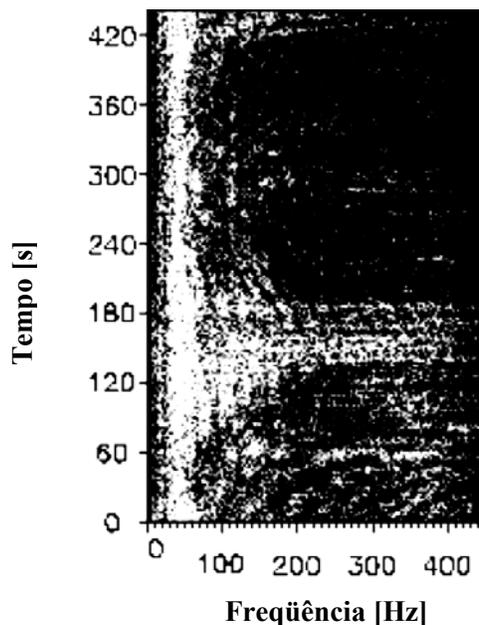
- **Sonar:** produz ruídos passivos que afetam a capacidade de detecção do sistema de sonar do navio. Entretanto, a transmissão ativa dos sinais de um sonar é de valiosa importância na detecção, classificação e localização de um navio. O controle do ruído do sonar não está associado ao programa de controle de ruído de bordo, tal como o ruído da plataforma.
- **Plataforma:** responsável pelo som irradiado e pelo ruído gerado pela tripulação. Seu controle é de vital importância no monitoramento do ruído de bordo, FAS (13).

São consideradas como fontes do ruído de plataforma: a) os ruídos do maquinário do navio que se origina nas vibrações dos equipamentos, sendo transmitido para o casco e deste para a água; b) o ruído do sistema de propulsão, originado fora do casco como consequência da ação dos propulsores (hélices) e do movimento do navio na água. O ruído de propulsão pode ser agravado pelo ruído de cavitação, causado pelo colapso do vapor de água produzido pelas lâminas das hélices; esse ruído ocorre apenas em determinadas velocidades, na faixa de 9 a 15 Nós, chamadas de cavitação de velocidade inicial, para navios com jogo constante nos propulsores. Em navios com jogo variável nos propulsores, tal fenômeno pode ocorrer tanto em baixas como em altas velocidades, a chamada cavitação de livre velocidade pode ocorrer próxima dos 12 Nós, que é a melhor velocidade de operação da armada americana. Outro importante ruído do sistema de propulsão é o "canto das hélices", causado pela ressonância das lâminas das hélices do motor, e geralmente ocorre em uma única e limitada faixa de velocidade; c) o ruído hidrodinâmico, causado pelo ruído externo do fluxo da água do mar contra o casco no navio e pelo ruído interno do fluxo dos fluidos dentro das canalizações do navio, que são transmitidos para o casco. O fluxo externo da água contra o casco do navio causa o ruído do chocalhar e vibrações em todo o casco e nas estruturas externas. Outros tipos de ruído de fluxo são: o

ribombar das ondas quebrando na proa do navio, das ondas causadas pelo movimento do navio e da turbulência produzida pela cúpula do sonar ou pelo aparato rebocado; e d) o ruído elétrico, provocado por interferências eletromagnéticas e captado pelo sonar com sinais elétricos do maquinário e de equipamentos eletrônicos. A fonte freqüente de interferências eletromagnéticas é o aqueamento de escovas e motores e os gabinetes de equipamentos eletrônicos com interruptores de alta voltagem, FAS (13).

A maior parte dos estudos encontrados sobre ruídos de navios se destina à proteção da fauna marinha, dos peixes e, especialmente, de mamíferos como baleias, golfinhos e focas, devido à perturbação por eles causada, bem como seus efeitos nocivos à presença, procriação e comunicação desses animais.

Nos documentos acessados não foram encontrados dados disponíveis sobre faixas de ruído em decibéis. Localizou-se somente gráficos (Frequência X Tempo ou Frequência X Velocidade) com os espectros característicos dos ruídos (assinatura acústica), das embarcações e dos animais, o que ilustra o tipo de análise realizada nesse campo da acústica, que não tem como objeto de estudo o efeito do ruído sobre o ouvido humano, cuja escala para análise é o decibel.



**Figura 2.1** – Assinatura Acústica de um Navio de grande porte

**Fonte:** PIONEER SEAMOUNT ACOUSTICS (55)

O espectrograma da figura 2.1 mostra a assinatura acústica de um navio de grande porte aproximando-se do hidrofone do laboratório americano *Pioneer Seamount*. As linhas brancas, longas e contínuas, ou bandas de frequência, são criadas pela rotação das lâminas da hélice propulsora e as características dessas linhas podem ser usadas para identificar o tamanho do navio, suas características, classe e, freqüentemente, navios com características particulares.

## **2.5 Ferroviário**

### **2.5.1 Conceitos Básicos sobre Ferrovia e Via Permanente**

A ferrovia é um sistema caracterizado por veículos com rodas de aço, guiadas sobre a via também de aço, e por uma modalidade de transporte na qual os veículos utilizados são: as locomotivas, os vagões de carga e carros de passageiros, que, juntos, formam as composições ferroviárias e a via é a ferrovia ou via permanente.

O modal ferroviário se distingue por ser um transporte de média e longa distância e de cargas com baixo custo operacional, porém de alto peso (toneladas), tais como contêineres e cargas a granel ou líquidas (vagões tanques), GUIMARÃES (21).

Em contraste com o crescimento do transporte rodoviário e aeroviário nas últimas décadas, em todo o mundo, o transporte ferroviário cresceu muito pouco e até declinou em alguns países. Porém, recentemente verificou-se que há indicações de que a ferrovia tende a assumir um novo papel. Inspirados pelo grande sucesso dos trens de alta velocidade do Japão e da França, vários países passaram a planejar o aumento da velocidade de seus trens

de passageiros, operando linhas com velocidades acima de 160 km/h até 400km/h, ampliando, assim, sua competitividade com o setor aeroviário.

Várias ligações ferroviárias vêm sendo construídas, sobretudo na Comunidade Européia, entre cidades estratégicas dos vários países membros. A velocidade e o conforto dessas viagens, mesmo aquelas feitas em trens de velocidades próximas de 200 km/h, atraem cada vez mais usuários e estimula os setores de transportes a investir em novos traçados e em tecnologia ferroviária.

O grande problema dessas ligações de alta velocidade é o ruído gerado. Usualmente, há necessidade da instalação de altas barreiras acústicas ao longo dos traçados que atravessam as áreas mais densamente habitadas, sendo que os danos ao meio ambiente e às comunidades devem ser considerados na elaboração do projeto de uma nova ferrovia.

Quanto maior a velocidade, maior será o ruído produzido no interior da cabine. Por exemplo, locomotivas paradas, de 2000 Hp a 3000 Hp, produzem um ruído da ordem de 61 a 68 dB(A). Já externamente, isto é, a aproximadamente 5 m de distância, um trem de passageiros tracionado por uma locomotiva elétrica produz ruído de 84 a 90 dB(A), a 64 km/h, e de 88 a 92 dB(A), a 132 km/h. Para trens de carga tracionados por locomotiva diesel, o ruído pode variar entre 82 e 92 dB(A), trafegando a 108 km/h e em nível, NELSON (46).

Oito anos após a inauguração da primeira ferrovia aberta ao público, com tração a vapor, situada entre *Stockton e Darlington*, na Inglaterra (1824), teve início a primeira tentativa para a construção de uma ferrovia brasileira, em 1836, com o Plano de Viação do Estado de São Paulo, que concedia a uma companhia estrangeira o direito de construir e explorar o transporte ferroviário. Porém, não houve êxito no projeto, BISCA (5).

A segunda tentativa foi em 1840, quando o médico inglês Thomas Cochrane recebeu uma concessão para construir a ligação ferroviária entre Rio de Janeiro e São Paulo. Por falta de investidores ingleses, esta tentativa também falhou.

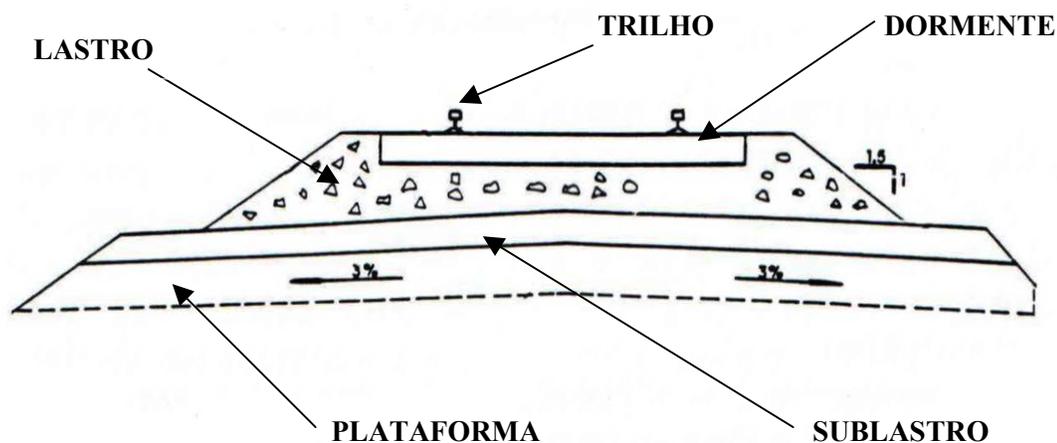
Somente em 1854, por iniciativa do Barão de Mauá - Irineu Evangelista de Souza, foi inaugurada a primeira ferrovia brasileira ligando o Porto de Mauá (no interior da Baía de Guanabara) à Raiz da Serra, em Petrópolis. Essa ligação possuía 14,5 km de extensão, que eram percorridos em 23 minutos, a uma velocidade média de 38,5 km/h.

Desde então, até o início do século XX, muitas outras ligações ferroviárias foram construídas no Brasil e no mundo, sempre com os mesmos elementos básicos e sem grandes diferenciações tecnológicas entre si. E este meio de transporte foi consagrado como o mais rápido e eficiente da época, BISCA (5).

A via ferroviária (leito viário) é chamada de via permanente e pode ser dividida em Infra-estrutura e Superestrutura.

A infra-estrutura é também chamada de plataforma ou leito ferroviário e constitui-se das várias camadas de terraplenagem, além dos sistemas de drenagem profunda (drenos, bueiros, etc.).

A superestrutura, ou seja, a via permanente, propriamente dita, constitui-se dos elementos sobre os quais os veículos ferroviários irão trafegar; basicamente, o sublastro, o lastro, os dormentes e os trilhos.



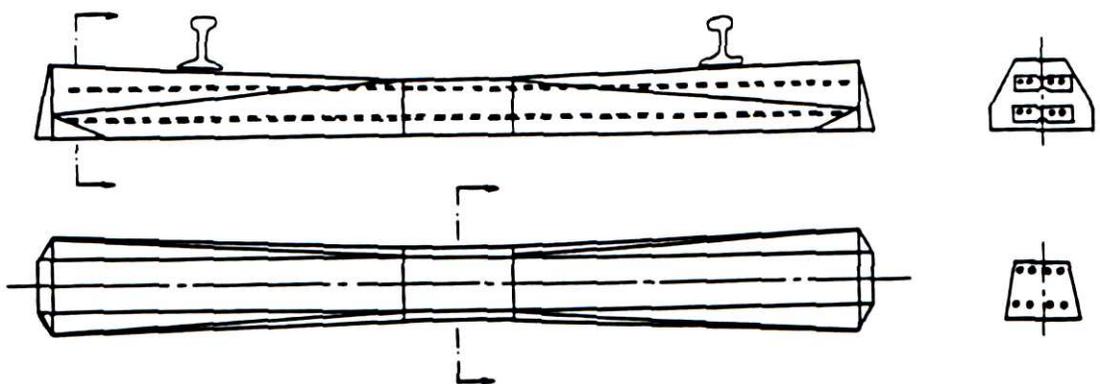
**Figura 2.2** - Seção Transversal de uma Via Férrea, em tangente.

**Fonte:** PAIVA (50).

A superfície da plataforma ferroviária pode resultar de camadas de aterro ou de corte e deve ter capacidade portante suficiente para suportar a superestrutura e os esforços decorrentes do tráfego ferroviário, de acordo com o projeto.

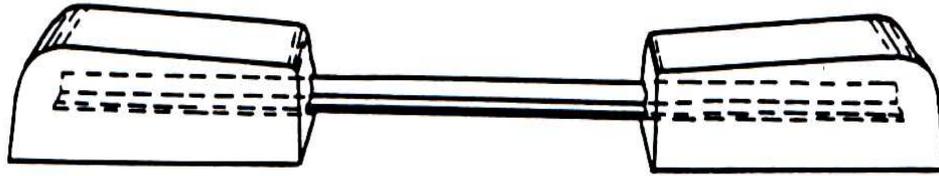
O sublastro é uma camada situada logo acima da plataforma (solo), geralmente de material granular mais fino que o lastro, com a função de: separar o lastro do solo; servir como camada drenante e proteger o solo; diminuir a espessura do lastro e ainda ajudar na sua capacidade portante. O lastro é uma camada de material granular (pedra britada, pedregulho ou escória de alto forno) que suporta a grade ferroviária, composta pelos trilhos e dormentes; suas principais funções são: suportar e manter a estabilidade da grade, para que esta não se movimente lateral e/ou longitudinalmente; servir como material drenante; servir como apoio elástico para oferecer conforto; transmitir uniformemente as tensões dos dormentes para o sublastro e para a plataforma, PAIVA (50).

Os dormentes são necessários para permitir a fixação dos trilhos, garantir a bitola constante (distância entre as faces internas dos dois trilhos) em toda a extensão da ferrovia, servir de apoio aos trilhos, transmitindo seus esforços ao lastro de forma mais distribuída. Podem ser de madeira, de concreto ou metálicos e diferentes tipos de dormentes geram diferentes tipos de ruído.



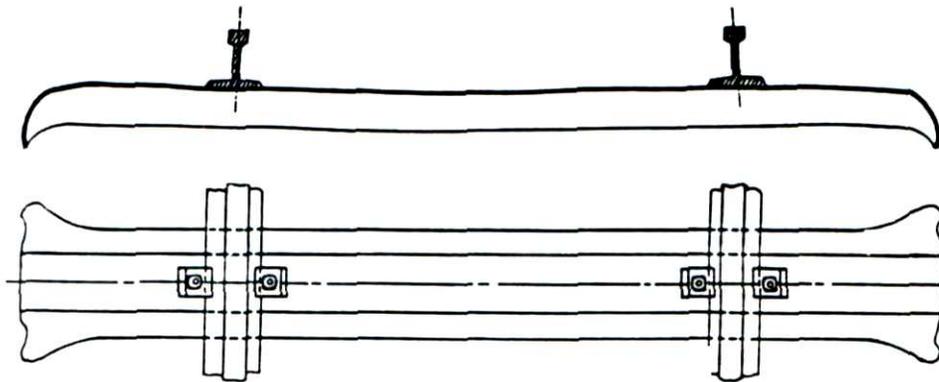
**Figura 2.3** - Dormente Monobloco de Concreto Protendido, vistas lateral, superior e transversal.

**Fonte:** PAIVA (50).



**Figura 2.4** - Dormente Bi-bloco de Concreto

**Fonte:** PAIVA (50).

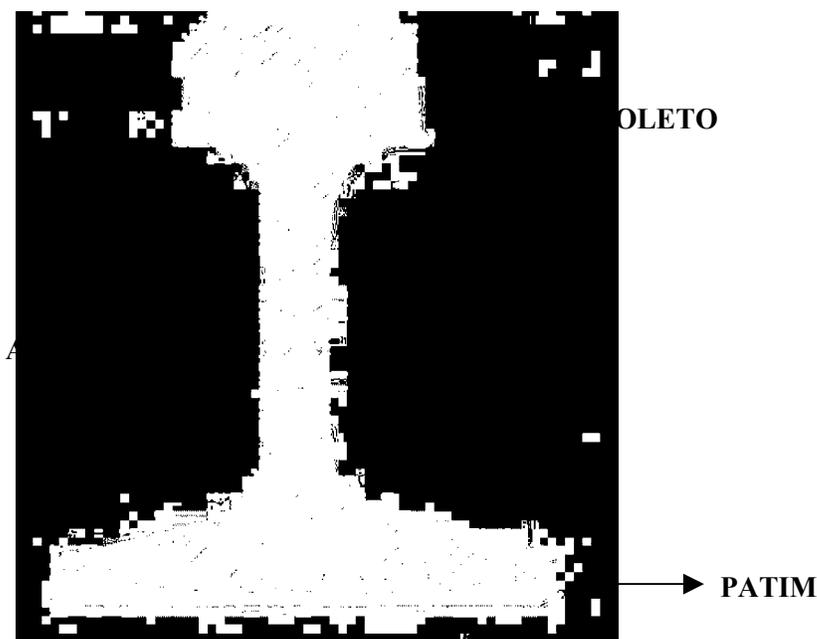


**Figura 2.5** - Dormente de Aço, vistas lateral e superior.

**Fonte:** PAIVA (50).

Segundo PAIVA (50), os trilhos constituem a superfície de rolamento pela qual trafegam os veículos ferroviários, superfície esta composta por dois perfis metálicos (aço). São mantidos paralelos pelos dormentes, e suas principais funções são as de constituir uma superfície de rolamento dura, lisa e suficientemente resistente para o tráfego dos pesados veículos ferroviários, de suportar os esforços de aceleração, frenagem e carregamento das rodas e transmitir essa carga para os dormentes. O perfil de trilho mais utilizado no mundo atualmente é o chamado Perfil Vignole. Desenvolvido por Charles Vignole em 1836, este perfil de trilho compõe-se de três partes: patim ou superfície de apoio, na parte inferior;

alma, na sua parte intermediária; e boleto, na parte superior, onde se dá o contato com a roda, figura 2.6.



**Figura 2.6** - Perfil de um Trilho Vignole

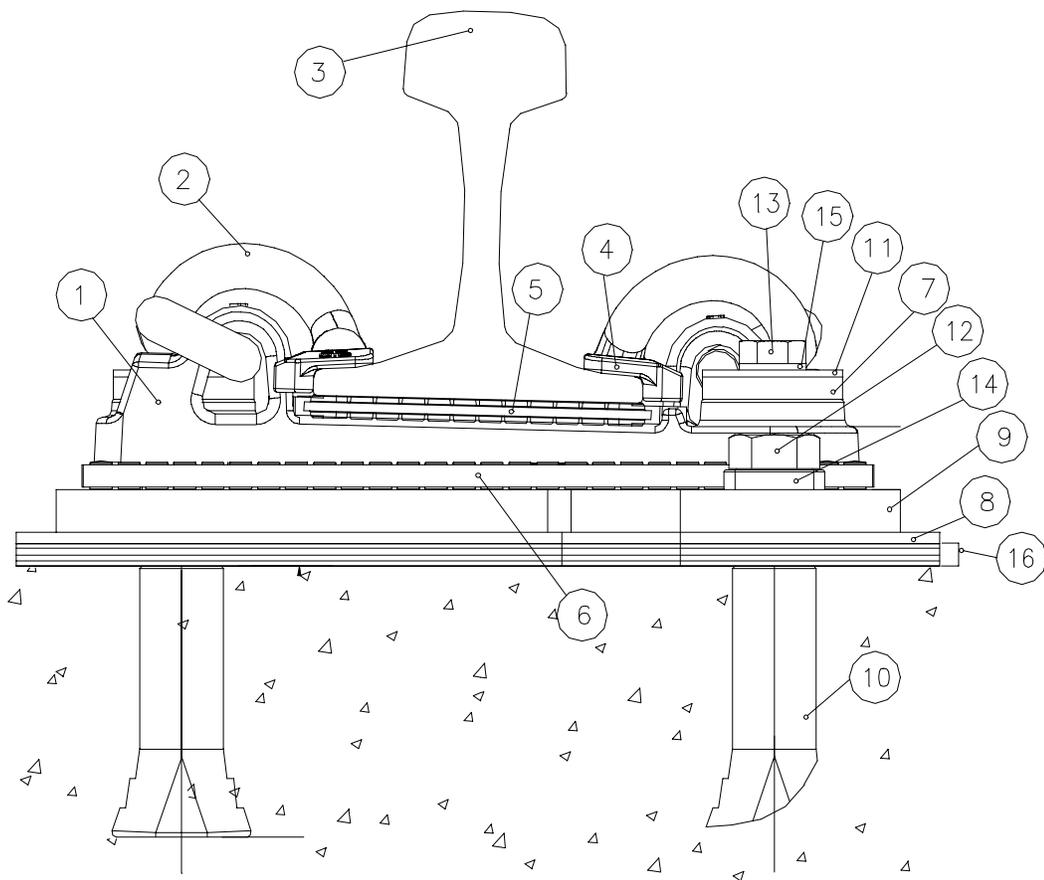
**Fonte:** PAIVA (50).

Além desses elementos principais, existem os dispositivos de fixação e acessórios, que servem para fixar os trilhos aos dormentes, apoiá-los e isolá-los eletricamente, e também para aumentar o conforto da via, atenuando vibrações.

Esses dispositivos devem ser resistentes, de modo a suportar os esforços gerados pela passagem dos trens e manter os trilhos presos aos dormentes. Seus componentes mais conhecidos são:

- Grampo elástico, Clipe elástico e Tirefond ou Tirefão - materiais metálicos, que prendem o trilho à placa de apoio e, no caso do Tirefão, também podem prender a placa de apoio ao dormente;
- Placa de apoio - feita de material metálico e posicionada entre o trilho e o dormente, confere inclinação aos trilhos, geralmente em 1:40 ou 1:20;

- Isoladores - feitos de material isolante, conferem isolamento elétrico aos trilhos, especialmente nos sistemas ferroviários eletrificados;
- Almofadas ou placas amortecedoras - feitas normalmente de compostos de borracha, têm a função de diminuir a vibração dos trilhos e de minimizar a sua transmissão para os dormentes e para a plataforma (estrutura de apoio); são posicionadas entre os trilhos e a placa de apoio e, por vezes, também entre a placa de apoio e a superfície do dormente.



**Figura 2.7** - Componentes de um Conjunto de Fixação de Trilho para um Sistema de Via com Fixação Elástica sem Massa Mola.

**Fonte:** CPTM (11).

## **Legenda da Figura 2.7 - Componentes do Conjunto de Fixação**

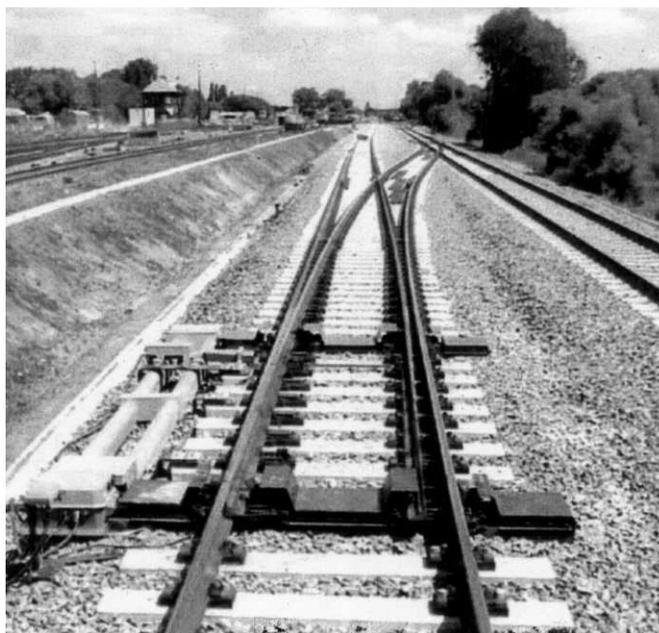
- 1 - Placa de Apoio
- 2 - Grampo Elástico
- 3 - Trilho
- 4 - Isolador
- 5 - Almofada Resiliente sob o Trilho
- 6 - Almofada Resiliente sob Placa de Apoio
- 7 - Bucha Resiliente de Borracha
- 8 - Palmilha Anticontaminante para Sistema sem Massa Mola
- 9 - Placa de Apoio Base para Sistema sem Massa Mola
- 10 - Chumbador de Ancoragem
- 11 - Arruela Lisa
- 12 - Parafuso Sextavado
- 13 - Parafuso Sextavado
- 14 - Arruela Serrilhada
- 15 - Arruela Simples de Pressão
- 16 - Combinação de Palmilhas de Nivelamento

Os trilhos são fabricados em barras de comprimento adequadas ao seu transporte (12 ou 18 m). Essas barras são unidas na via por dispositivos de junção, chamados Talas de Junção, que impedem a descontinuidade da via e mantêm a solidariedade entre as barras, dando firmeza ao conjunto. Para a melhoria das condições de rolamento da via, os trilhos são unidos por soldagem em suas duas extremidades, passando então a ser denominados Trilhos Continuamente Soldados - TCS, quando não existem talas de junção, ou Trilhos Longos Soldados - TLS, quando são utilizados tramos (de 126 m ou 260 m, no caso da Cia Paulista de Trens Metropolitanos) de várias barras soldadas entre si, unidas por talas de junção. Vias com TLS ou TCS são características de trechos com alta densidade de tráfego e de trens de passageiros, especialmente no Brasil.

Inicialmente as ferrovias eram, em muitas vezes, construídas sobre uma única via, impossibilitando a passagem de dois trens ao mesmo tempo. Posteriormente, com uma maior demanda e disponibilidade de trens, os trechos passaram a ter pelo menos duas vias, permitindo a circulação simultânea nos dois sentidos. Para passar de uma via a outra ou para acessar vias de pátios e desvios, foi desenvolvido o Aparelho de Mudança de Via - AMV.

Esses aparelhos possuem partes móveis e fixas. As partes móveis são chamadas de Agulhas, e se deslocam lateralmente fazendo a ligação entre os trilhos de uma via e de outra, permitindo a transposição dos veículos ferroviários sem que suas rodas saiam dos trilhos. Para assegurar que os veículos não descarrilem, são utilizados contra-trilhos que mantêm as rodas alinhadas como em uma guia. Além disso, compõem os AMV's, os trilhos de ligação e o Jacaré, dispositivo que permite a circulação cruzada das rodas e que opcionalmente pode ser móvel, facilitando a inscrição das rodas.

O deslocamento das agulhas é feito por máquinas colocadas junto à via, chamadas Máquinas de Chave ou de Manobra, cujo acionamento pode ser elétrico ou manual.



**Figura 2.8** - Foto de Um Aparelho de Mudança de Via - AMV, sobre via em Lastro com Dormentes de Concreto Monobloco.

**Fonte:** Catálogo em Mídia Magnética do Fabricante do AMV, *BWG*, (8).

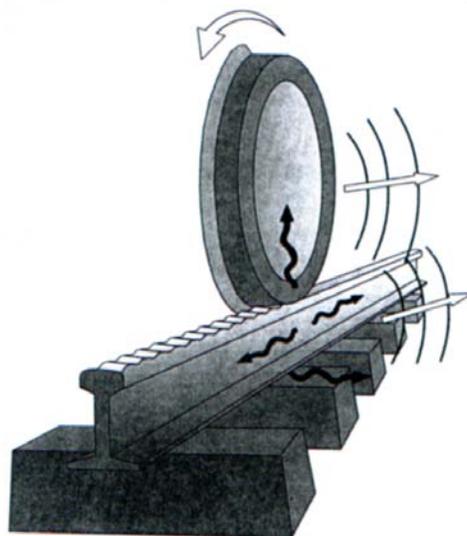
O contato roda/trilho é a principal fonte de ruído ferroviário para velocidades próximas de 80 km/h. Portanto, a planicidade das superfícies do trilho e da roda é de vital

importância, pois na sua ausência, as imperfeições geram ruído, uma vez que são duas superfícies metálicas em contato e sujeitas ao atrito. Qualquer defeito, por menor que seja, na região do contato, tanto nos trilhos como nas rodas, deve ser investigado quando se pretende mitigar o ruído primário de um dado sistema ferroviário.

Mecanismos associados com a interação da roda e o trilho dominam a produção de ruído de operações ferroviárias em velocidades convencionais e são bastante significativos nos trens de alta velocidade. O ruído roda/trilho pode ser dividido em três categorias. O ruído de rolamento, que ocorre em trilhos retos e são predominantemente causados por ondulações na superfície das rodas e dos trilhos que induzem uma vibração vertical relativa. O ruído de impacto, que pode ser considerado uma forma extrema do ruído de rolamento, devido a descontinuidades na superfície das rodas e dos trilhos, causando também uma excitação vertical, porém descontínua. E, finalmente, o ruído de esmerilhamento, que ocorre em curvas de raio apertado, e é usualmente induzido por um mecanismo de excitação lateral, THOMPSON e JONES (59).

O defeito causador de ruído mais comum nos trilhos é a corrugação, isto é, ondulações na superfície de rolamento (boleto), ocasionadas por problemas nas rodas dos veículos ferroviários, por desgaste ou escoamento do aço da superfície do trilho, falta de manutenção, excesso de carga em relação à capacidade projetada, ou ainda por tensões residuais existentes nos trilhos.

Os problemas de corrugação, oriundos dos veículos ferroviários são bastante comuns, especialmente em trechos de frenagem, demarragem em rampa ou em curvas de raio pequeno (entre 300 e 1000 m). Porém, a falta de manutenção regular e adequada, que leva os trilhos ao limite de seu desgaste, ocasionando o desprendimento das fixações, deixando o lastro sujo e sem arestas e as juntas soltas ou desniveladas, também contribuem para o aumento do ruído gerado pelo contato roda/trilho.



**Figura 2.9** - Produção de Ruído pelo Contato Roda / Trilho, em trilho corrugado.

**Fonte:** *Noise and Vibration from High-Speed Trains*, 2001, KRYLOV (38).

Existem ainda os defeitos chamados de “canoas”, que são depressões na superfície do trilho, e os defeitos denominados “calos”, que são as protuberâncias. Ambos são menos comuns em linhas de alta densidade de tráfego, e são causados geralmente por defeitos na soldagem das barras ou por defeitos de fabricação do trilho.

De acordo com JANSSEN (31), o Instituto de Física Aplicada da Holanda (TNO) elaborou um estudo usando o programa TWINS - *Track - Wheel Interaction Noise Software* (1990), que promoveu o desenvolvimento de uma estrutura silenciosa para apoio dos trilhos, incorporando o trilho do tipo AS 42 e otimizando as propriedades do material onde o trilho fica embebido. As placas de apoio comum causam um acréscimo de aproximadamente 2 dB(A) na emissão de ruídos, enquanto que neste caso a placa de apoio causou uma redução no ruído de aproximadamente 5 dB(A). Este efeito foi conseguido sem a utilização de amortecimento adicional ou recurso de absorção ou proteção. Adicionando proteção, a redução do ruído chega a 12 dB(A), sendo que essas reduções se aplicam somente ao ruído produzido pelo trilho. Testes em protótipos, realizados pelo TNO,

confirmaram que essas placas de apoio implicam redução da emissão de ruído em mais de 5dB(A).

## **2.5.2 Veículos Ferroviários**

Veículo ferroviário é todo aquele que trafega em uma ferrovia, sendo as locomotivas, os vagões e os carros de passageiros os mais comuns entre eles. Os vagões se destinam ao transporte de cargas, os carros ao transporte de pessoas e as locomotivas destinam-se a tracioná-los.

O trem ou a composição ferroviária é o conjunto formado pelas unidades arrastadas, carros e/ou vagões, unidas entre si e à unidade tratora, locomotiva ou carro motor.

Os trens de carga trafegam geralmente em áreas rurais e interurbanas com velocidades menores (30 km/h a 70 km/h), devido à carga que transportam. Podem ser formados por uma ou mais locomotivas e por muitos vagões, com algumas composições chegando a ter 2000 m de comprimento. A carga por eixo, nesses casos, pode atingir até 32 toneladas, causando um esforço considerável sobre a superestrutura da via e de seus componentes.

Os trens metro-ferroviários ou metropolitanos são trens de passageiros destinados ao transporte de grande capacidade (carregam em média de 100 a 300 passageiros por carro), que circulam em regiões metropolitanas com alta densidade demográfica. O tempo de viagem é geralmente curto, assim como o intervalo entre seus horários, propiciando o deslocamento rápido de um grande número de usuários dentro da região prestadora do serviço.

No transporte metro-ferroviário são usualmente utilizados os chamados Trens Unidade Elétricos – TUE, que costumam ser formados pelo conjunto de três ou quatro

carros, onde um, dois ou todos são dotados de motor de tração elétrica. Esses conjuntos de carros são chamados de unidades. Uma vez acoplados, compõem um trem, daí o termo “Trens Unidade”.

Os outros tipos de trens de passageiros são os de médio e longo percursos. Os primeiros se caracterizam pelo transporte de pessoas de regiões suburbanas para grandes centros metropolitanos. Possuem, em geral, usuários cativos, com maior frequência, no início da manhã, para o trajeto em direção à metrópole, e, no final do dia, na direção oposta. Esses trens transportam cerca de sessenta passageiros sentados por carro e viajam em velocidade média de 100 km/h, levando em torno de uma a duas horas por trajeto.

Os trens de longo percurso ligam cidades e até países. Suas viagens podem levar dias entre a origem e o destino final. Possuem menor capacidade para transportar pessoas, por carro, em relação aos trens de médio percurso e aos trens metropolitanos, devido à demora no tempo da viagem. São mais confortáveis do que as outras modalidades, oferecendo duas ou três classes e opções de leito, restaurante e bar. Nesta categoria estão incluídos os trens de alta velocidade europeus e japoneses.

Conforme discutido no item 2.5.1, o ruído predominante para as velocidades de até 80 km/h é proveniente do contato roda trilho e a superfície da roda deve estar suficientemente plana, regular e uniforme para evitar o aumento do ruído.

Os defeitos na superfície de rolamento das rodas são rugosidades e calosidades ocasionadas especialmente por deficiência do sistema de freios, quando utilizadas sapatas fenólicas. No caso da utilização de freios a disco, esse problema se torna bastante reduzido, pois o material de atrito não entra em contato com a superfície de rolamento das rodas. Podem também ocorrer problemas na demarragem, ou partida, nas rodas das locomotivas ou dos carros motores dos TUE's, quando não equipados com dispositivos de controle de tração, que impedem o giro, sem contato, de uma ou mais rodas durante a partida devido ao excesso de tração.

As rodas podem apresentar defeitos nas laterais internas, ou frisos, que, nas curvas, tocam a lateral do boleto do trilho. Quando o raio da curva é pequeno e/ou a base rígida da suspensão primária do carro não é compatível com a geometria da via, a inscrição do trem nas curvas se torna forçada, fazendo com que o friso da roda “raspe” na lateral do boleto, causando o ruído de esmerilhamento, ou seja, do metal da roda sendo atritado contra o metal do trilho.

Uma promissora forma de proteção contra o ruído de rolamento é a inclusão de saias montadas no veículo ferroviário, combinadas à instalação de barreiras baixas na lateral dos trilhos. Entretanto, a performance destas proteções é de difícil avaliação, tanto teórica quanto experimentalmente, uma vez que as proteções enclausuram a fonte. Novos métodos experimentais vêm sendo desenvolvidos, para que a solução acima descrita seja analisada e verificada sob condições estatísticas, possibilitando rápidas comparações de diferentes configurações, GEERLINGS e VERHEIJ (18).

Também está sendo desenvolvido, pela *ABB Corporate Research* na Suécia, conforme narrado por FRID (15), um método barato e rápido para mitigar o ruído de rolamento lateral ou esmerilhamento nos componentes da roda e do trilho, de forma direta e indireta. A forma direta se refere ao som irradiado do lado de fora dos trilhos e rodas, e a forma indireta se relaciona ao som irradiado do lado de dentro. O método foi demonstrado na passagem dos trens Série X2000, bem como os benefícios potenciais no amortecimento, absorção e proteção sonora.

O 6º *Workshop* Internacional de Ruído Ferroviário, realizado em Barcelona, Espanha, em 1998, segundo GAUTIER (17), teve início com a revisão das pesquisas de ruídos e vibrações e resultados alcançados desde o *Workshop* anterior. As conclusões resultaram do desenvolvimento de ferramentas e métodos relacionados ao projeto de soluções para o ruído de rolamento. Neste evento, foi exaustivamente discutido o crescimento da necessidade de um sistema voltado para o suporte de decisões, para a busca de uma aplicação mais eficiente, no cenário econômico, de soluções que contemplem os diferentes elementos do veículo ou do sistema de trilho.

Portanto, conforme descrito, as pesquisas sobre os ruídos gerados pelo meio ferroviário estão em desenvolvimento nos países com tecnologia ferroviária de ponta. No Brasil, só recentemente, o ruído gerado pelo meio ferroviário passou a ser considerado nos projetos e pesquisas, sendo que, atualmente, essa área está em franca evolução.

### **3. ASPECTOS GERAIS DO RUÍDO E CONCEITOS FUNDAMENTAIS DE ACÚSTICA**

#### **3.1 A Natureza do Som**

A natureza do som pode ser explicada como a sensação do ouvido humano a uma onda sonora no ar produzida pela vibração de um objeto. Considerando-se o ar próximo da superfície de um objeto vibrante, e que os movimentos da superfície são de dentro para fora, as moléculas de ar adjacentes ao objeto são empurradas e agregadas (o ar é comprimido). O ar não pode retornar imediatamente à sua posição inicial, pois, momentaneamente, esse espaço está ocupado pelo avanço da superfície do objeto vibrante, de modo que um movimento de ar ocorre à frente do objeto, PARKIN e HUMPHRIES, In: MARSH (44).

Esse objeto vibrante provocará sucessivas compressões e rarefações no ar a seu redor, que consistem de pequenas flutuações na pressão do ar transmitidas a partir da fonte,

a velocidades relativamente altas e que vão se extinguindo gradualmente à medida que a energia nelas contida é absorvida pelo meio.

Chamamos de som à sensação produzida pelo ouvido quando estimulado por essas vibrações, MARSH (44).

Registrando-se os valores máximos e mínimos de pressão em um determinado momento, obtém-se uma onda sonora. Como o som é transmitido longitudinalmente no ar, o gráfico que mostra uma onda senoidal se refere unicamente às variações na pressão ou compressão do ar, e não ao deslocamento instantâneo do ar.

### 3.2 Propriedades do Som

As propriedades do som são as características que permitem descrever o movimento de uma onda sonora, a saber: amplitude, frequência, velocidade e comprimento de onda.

**Amplitude:** refere-se à diferença entre os valores máximos e mínimos de pressão sonora.

**Comprimento de Onda ( $\lambda$ ):** refere-se à distância física entre compressões sucessivas, e é dependente da velocidade do som no meio, dividido por sua frequência:

$$\lambda = c / f \quad (3.1)$$

**Frequência (f):** refere-se ao número de flutuações de pico a pico na pressão sonora, e é um ponto específico que percorre o espaço em um segundo.

**Velocidade (c):** Refere-se à velocidade de viagem da onda sonora. Varia conforme o meio e também é dependente da temperatura. Pressupondo que o ar é um gás ideal, sua velocidade **c** (em m/s) relaciona-se com a temperatura **T** (em ° C), como segue:

$$c = 331,5 + 0,6 T \text{ [m/s]} \quad (3.2)$$

Em outros materiais, a velocidade do som pode variar substancialmente. A tabela seguinte mostra a velocidade do som em vários materiais diferentes.

**Tabela 3.1 – Velocidade do Som em Materiais Diversos**

<b>Materiais</b>	<b>Velocidade do Som (m/s)</b>
<b>Ar</b>	<b>343</b>
<b>Aço</b>	<b>6100</b>
<b>Madeira</b>	<b>5260</b>
<b>Tijolo</b>	<b>3650</b>

**Tabela 3.2 – Propriedades do Som no Ar**

<b>Temperatura (T): 20 °C</b>	<b>Velocidade (c): 343,7 m/s</b>
<b>Frequência (f): 500 Hz</b>	<b>Comprimento de Onda (λ): 0,6874 m</b>

### 3.3 Magnitudes Acústicas

As magnitudes ou grandezas acústicas são: pressão, intensidade e potência sonoras.

A pressão sonora é a quantidade de força média que um determinado som, ou onda sonora, produz sobre uma superfície por unidade de área. Embora a pressão sonora seja medida em Pascal ( $\text{N}/\text{m}^2$ ), usualmente os níveis de pressão sonora são especificados em decibéis. Trata-se de uma escala logarítmica, bem adaptada ao ouvido humano, que tem um comportamento muito mais logarítmico do que linear.

Conseqüentemente, uma variação no nível de pressão sonora de 5 dB resulta rigorosamente na mesma mudança da sensação auditiva para qualquer nível que não se situe próximo ao zero (início da escala), considerando que uma mudança no nível de pressão sonora de 0,01 Pa pode ser equivalente a uma mudança muito subjetiva para baixos níveis, enquanto se torna fortemente perceptível para os altos níveis, NELSON(46).

Uma vez que a pressão de referência é aproximadamente igual ao mínimo de pressão audível para 1 kHz, a proporção para um som audível é geralmente maior que uma unidade, e o nível de pressão sonora, em dB, é positivo. Zero dB corresponde aproximadamente ao limiar de audição para 1 kHz e a escala de decibéis se estende para cima, normalmente até 120 dB, antes que o som se torne tão alto que atinja o limiar da dor.

A palavra "nível" é comumente associada ao uso da escala de decibéis, e o nível de pressão sonora ( $L_p$ ) é definido pela expressão:

$$L_p = 20 \log_{10} (p/2 \times 10^{-5}) \quad [ \text{dB} ] \quad (3.3)$$

Onde:

$L_p$  é o nível de pressão sonora

$p$  é a pressão sonora de resposta

$2 \times 10^{-5}$  é o valor da pressão de referência -  $p_0$

$2 \times 10^{-5} < p < 20 \text{ Pa}$

Para conseguir uma escala conveniente, é necessário dividir o valor da pressão de resposta pelo valor da pressão de referência, antes da aplicação do logaritmo.

O fator "20" aparece porque originalmente os decibéis foram definidos como razões de potência sonora, e a potência sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora.

O ouvido humano capta variações de pressão dentro do intervalo acima para a variação de "p" em torno da pressão atmosférica e calibra sua percepção, baseado na pressão atmosférica local.

A intensidade sonora de uma fonte é a quantidade de energia irradiada numa área e em um determinado tempo.

Existe uma relação simples entre a pressão e a intensidade da onda sonora para uma onda que se propaga no espaço livre a partir de uma fonte.

$$I = \frac{p_{\text{rms}}^2}{\rho c} \quad [\text{W/m}^2] \quad (3.4)$$

Onde:

$I$  = Intensidade da onda sonora

$p_{\text{rms}}$  = pressão eficaz (root mean square)

$\rho$  = densidade do ar ( $1,2 \text{ kgm}^{-3}$ , para pressão atmosférica normal)

$c$  = velocidade do som no ar (344 m/s, a 20° C)

$\rho c$  = impedância acústica (413 rayls ou Pa s/m)

O nível de intensidade sonora ( $L_I$ ) é definido como:

$$L_I = 10 \log ( I / I_0 ) \quad [\text{dB}] \quad (3.5)$$

Onde:

$$I_0 = 10^{-12} \quad - \quad \text{Intensidade de referência dada pela expressão 3.4, para } p = 2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$$

No caso de ser preferível o uso de  $L_I$  no lugar de  $L_p$ , nas análises acústicas, é necessário utilizar uma escala de decibéis adequada para intensidade e potência.

Potência sonora é a quantidade de energia irradiada por uma fonte sonora. Do mesmo modo que o nível de intensidade sonora, o nível de potência sonora ( $L_W$ ) é obtido por:

$$L_W = 10 \log ( W / W_0 ) \quad [\text{dB}] \quad (3.6)$$

Onde:

$W$  = potência da Fonte Sonora

$W_0 = 10^{-12} \text{ [W]}$  = potência de referência

Os valores de referência, máximo e mínimo, para a faixa de percepção do ouvido humano, correspondentes à pressão sonora são:

$$2 \times 10^{-5} < p < 20 \text{ [Pa]} - \text{Pressão Sonora}$$

$$10^{-12} < W < 1 \text{ [W]} - \text{Potência Sonora}$$

$$10^{-12} < I < 1 \text{ [W/m}^2\text{]} - \text{Intensidade Sonora}$$

### 3.4 Espectro de Freqüência

A única forma de descrever a freqüência de um mesmo sinal é decompor toda a escala de freqüências em uma série de bandas contínuas e medir o nível do sinal em cada banda por período de tempo suficiente para obter uma média significativa. O resultado dessas médias de freqüência é conhecido como espectro de freqüência.

Uma onda sonora simples é um tom puro e contínuo de uma determinada e singular freqüência, mas esse tipo de fenômeno raramente ocorre fora do laboratório. Nem mesmo os instrumentos musicais criam uma onda sonora que consista de vários harmônicos superimpostos na fundamental. Se analisarmos um sinal sonoro não repetitivo, veremos que ele contém todas as freqüências possíveis em uma dada escala. Se uma única freqüência puder ser filtrada e estudada, sua amplitude pode ser encontrada e variar ocasionalmente com o tempo.

### 3.5 Bandas de Freqüência de Oitava e 1/3 de Oitava

Agrupar as freqüências numa banda de oitava possibilita uma forma de analisar amplamente as bandas sonoras que não contenham uma freqüência dominante. A freqüência de referência em qualquer trabalho de acústica é, algumas vezes, de 1000 Hz, e esta é a freqüência central de uma banda de oitava de 1000 Hz. Outra freqüência central de banda de oitava está relacionada a 1000 Hz pelo fator  $10^{\pm 0,3 N}$ , onde  $N$  é o valor de uma integral positiva. As freqüências limites (inferior e superior) de uma faixa estão

relacionadas com a frequência central pelo fator  $10^{\pm 0,15}$ . Maiores detalhes poderão ser obtidos na utilização de bandas de 1/3 de oitava, cuja frequência central está relacionada à frequência de 1000 Hz pelo fator  $10^{\pm 0,1 N}$ , e as frequências limites da faixa estão relacionadas com a frequência de 1000 Hz pelo fator  $10^{\pm 0,05}$ . A tabela 3.4 contém as frequências listadas para banda de oitava e banda de 1/3 de oitava.

**Tabela 3.4-** Frequências utilizadas em medidas acústicas [Hz]

Banda de 1/1 de Oitava			Banda de 1/3 de Oitava		
<i>f inferior</i>	<i>f central</i>	<i>f superior</i>	<i>f inferior</i>	<i>f central</i>	<i>f superior</i>
11	16	22	14,1	16,0	17,8
			17,8	20,0	22,4
			22,4	25,0	28,2
22	31,5	44	28,2	31,5	35,5
			35,5	40,0	44,7
			44,7	50,0	56,2
44	63	88	56,2	63,0	70,8
			70,8	80,0	89,1
			89,1	100,0	112,0
88	125	177	112,0	125,00	141,0
			141,0	160,0	178,0
			178,0	200,0	224,0
177	250	355	224,0	250,0	282,0
			282,0	315,0	355,0
			355,0	400,0	447,0
355	500	710	447,0	500,0	562,0
			562,0	630,0	708,0
			708,0	800,0	891,0
710	1000	1420	891,0	1000,0	1122,0
			1122,0	1250,0	1413,0
			1413,0	1600,0	1778,0

Banda de 1/1 de Oitava			Banda de 1/3 de Oitava		
<i>f</i> inferior	<i>f</i> central	<i>f</i> superior	<i>f</i> inferior	<i>f</i> central	<i>f</i> superior
1420	2000	2840	1778,0	2000,0	2239,0
			2239,0	2500,0	2818,0
			2818,0	3150,0	3548,0
2840	4000	5680	3548,0	4000,0	4467,0
			4467,0	5000,0	5623,0
			5623,0	6300,0	7079,0
5680	8000	11360	7079,0	8000,0	8913,0
			8913,0	10000,0	11220,0
			11220,0	12500,0	14130,0
11360	16000	22720	14130,0	16000,0	17780,0
			17780,0	20000,0	22390,0

**Tabela 3.4** - Frequências utilizadas em medidas acústicas [Hz], continuação.

**Fonte:** BERTOLI (4).

### 3.6 Propagação Sonora

Em espaço aberto está evidenciado que o nível sonoro diminui à medida que a distância da fonte aumenta por si só, para uma dispersão geométrica da potência sonora, isto é, se for considerada uma fonte punti-forme. Em atmosfera tranqüila (sem turbulência) e temperatura uniforme, sem barreiras ou outras obstruções, excluindo a possibilidade de absorção do ar, a potência sonora total deverá passar através da superfície esférica em volta da fonte. No caso simplista de uma fonte em espaço livre, irradiando-se igualmente em todas as direções, a relação entre a Intensidade e a Distância –  $r$  – será dada por:

$$I = W/4\pi r^2 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (3.7)$$

Ou na sua forma logarítmica:

$$SPL \cong L_I = L_W - 11 - 20\log r \text{ [dB]} \quad (3.8)$$

O termo final do membro direito da equação 3.8 representa a lei do inverso quadrado na acústica. E, através dessa equação, pode-se observar que o nível de intensidade sonora cai em 6 dB, a cada vez que a distância dobra.

Segundo MARSH (44), se a fonte é direcional, logo a intensidade sonora não é distribuída uniformemente por toda a superfície esférica à sua volta. O comportamento direcional da irradiação pode ser especificado pelo fator direcional (*DF*). O *DF* é definido como a proporção da intensidade irradiada em uma dada direção em relação à intensidade irradiada por uma fonte semidirecional de mesmo valor de potência. Se o *DF* exceder a uma unidade, haverá mais perda de intensidade irradiada em algumas direções do que em outras. Tanto, que o valor médio de *DF* para uma superfície esférica completa corresponde à unidade (1). A forma logarítmica de *DF* é o índice de diretividade (*DI*), o que vem modificar a equação 3.8 para:

$$SPL \cong L_I = L_W - 11 + DI - 20\log r \text{ [dB]} \quad (3.9)$$

No caso particular de uma fonte apoiada sobre superfície altamente reflexiva, com irradiações regulares para todas as direções de uma superfície semi-esférica, ***DI* = 3 dB**, a equação passa a ser:

$$SPL \cong L_I = L_W - 8 - 20\log r \text{ [dB]} \quad (3.10)$$

Usualmente as fontes têm alguma diretividade e o *DI* pode ser especificado em função da direção.

### 3.7 Absorção Sonora Aérea

Segundo MARSH (44), os efeitos atmosféricos sobre a absorção do som pelo ar (absorção aérea) podem ser melhor compreendidos separando-se os fatores que nela atuam, conforme descreve-se a seguir:

A absorção do som pelas moléculas do ar se refere à atenuação da intensidade do som como resultado de sua passagem pelo meio, neste caso o ar. Os mecanismos de absorção são bastante complexos, porém, o efeito global pode ser considerado como produto de três fatores conhecidos: absorção clássica, relaxamento rotacional e relaxamento vibracional. A absorção clássica e o relaxamento rotacional são considerados conjuntamente devido à relação linear desses fatores com a frequência.

A absorção clássica é expressa como sendo o resultado dos processos de transporte da Física Clássica; a saber: a viscosidade do meio, a condutividade térmica, a difusão da massa e a difusão térmica. A absorção rotacional é o resultado do relaxamento da energia rotacional dentro das moléculas, causada por mudanças de pressão induzidas pela onda sonora.

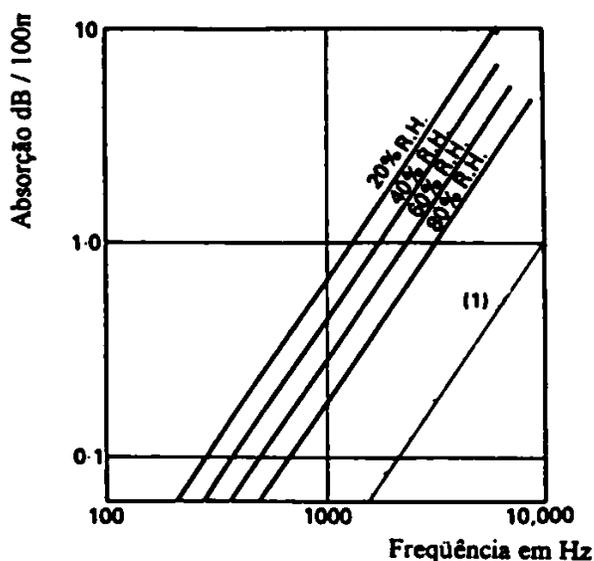
O relaxamento vibracional dentro das moléculas de um gás é o resultado do armazenamento de energia vibracional incidente dentro da molécula, em vez do armazenamento de energia de translação, apesar do deslocamento físico daquela molécula. Sabe-se que essa energia converte a energia translacional quase que imediatamente, instantaneamente, porém é necessário um curto período de tempo para essa conversão, o que, conseqüentemente, ocasiona um atraso na onda sonora nas mudanças da pressão e densidade. E esse atraso causa uma leve redução na intensidade da onda acústica.

Em virtude da natureza das moléculas de oxigênio e nitrogênio, os efeitos do relaxamento vibracional nelas ocorrem em frequências diferentes. Apenas recentemente os efeitos do nitrogênio na porção mais baixa (inferior) do espectro audível foram adicionados

às formulas de predição. Assim sendo, em muitos dos métodos mais antigos, como o de KNESSER e EVANS & BAZLEY In: MARSH (44), a absorção raramente é prevista em faixas abaixo de 1 - 2 KHZ.

As freqüências de relaxamento vibracional das moléculas de nitrogênio e oxigênio são, para uma pequena extensão, uma função da pressão atmosférica e da temperatura, sendo o fator mais determinante a concentração molar de vapor de água no ar. Embora a quantidade de absorção permaneça virtualmente inalterada pelo vapor de água contido no ar, este vapor afeta substancialmente os tempos de relaxamento das duas moléculas, mudando assim a freqüência vibracional dentro do espectro audível.

A concentração molar presente em um momento específico é governada pela temperatura e pela proporção da pressão parcial na pressão de vapor na saturação dentro de uma determinada amostra de ar. O coeficiente resultante representa a redução na intensidade sonora por metro de distância. O ponto principal a ser considerado sobre a absorção molecular é que ela é linear em relação à distância, e não logarítmica. Deste modo, esses efeitos tendem a ficar muito mais expressivos com o aumento da distância, considerando-se um espalhamento geométrico atípico, Ibid. (44).



**Figura 3.1** - Absorção do Ar [dB/100 m], em função da Umidade Relativa.

**Fonte:** BERTOLI, (4).

### **3.8 Escalas de Ponderação de Pressão Sonora**

De forma geral, o ruído consiste do som a diferentes freqüências, corrigido para todo o espectro audível. Como o ouvido humano é mais sensível a algumas freqüências do que a outras, o nível de perturbação vai depender do espectro de freqüência do ruído.

Há vários modos diferentes para se determinar quão ruidoso um som pode ser percebido. Muitos trabalhos foram realizados nesta área, especialmente no início dos anos setenta, e há várias técnicas aceitas em uso.

O ouvido humano é muito sensível a sons no intervalo de freqüência de 500 Hz a 4000 Hz e menos sensível a sons acima e abaixo dessas freqüências; esta área de sensibilidade corresponde à faixa de freqüência da fala humana.

A resposta do ouvido humano não variará uniformemente, conforme o limiar de audibilidade, para sons de diferentes freqüências. Assim, quando se referencia um nível sonoro específico,  $L_p$  ou  $L_I$ , apenas em dB, não se está considerando a resposta do ouvido humano. Para que se considere tal hipótese, é necessária uma modificação adicional que corrija os valores de  $L_p$  ou  $L_I$ .

### **3.9 Medição Sonora**

A medição sonora é realizada basicamente por dois instrumentos diferentes, o Medidor de Nível Sonoro - MNS e o Dosímetro.

O medidor de nível sonoro é um instrumento que mede a intensidade do som em um determinado momento, MARSH (44). Uma vez que o medidor fornece o valor da intensidade sonora para um único ponto no tempo, é geralmente necessário tomar várias medidas em momentos diferentes, durante o período, para calcular a exposição ao ruído durante uma jornada de trabalho, por exemplo. Se o nível de ruído oscila, é necessário determinar cada um dos vários níveis medidos, relativos aos intervalos de tempo restantes.

A estimativa do nível de exposição ao ruído ao qual um trabalhador de fábrica está sujeito é realizada usando um Medidor de Nível Sonoro, sendo necessário fazer a tomada de várias medidas em diferentes locais do espaço de trabalho. Com as leituras feitas através do medidor, mapas de níveis de ruído podem ser elaborados em diferentes pontos do local de trabalho e, considerando conjuntamente a localização do empregado na área de trabalho ao longo da jornada diária, pode-se desenvolver estimativas do nível de exposição individual. Geralmente esse método é conhecido como Monitoração de Ruído de uma Área, MARSH (44).

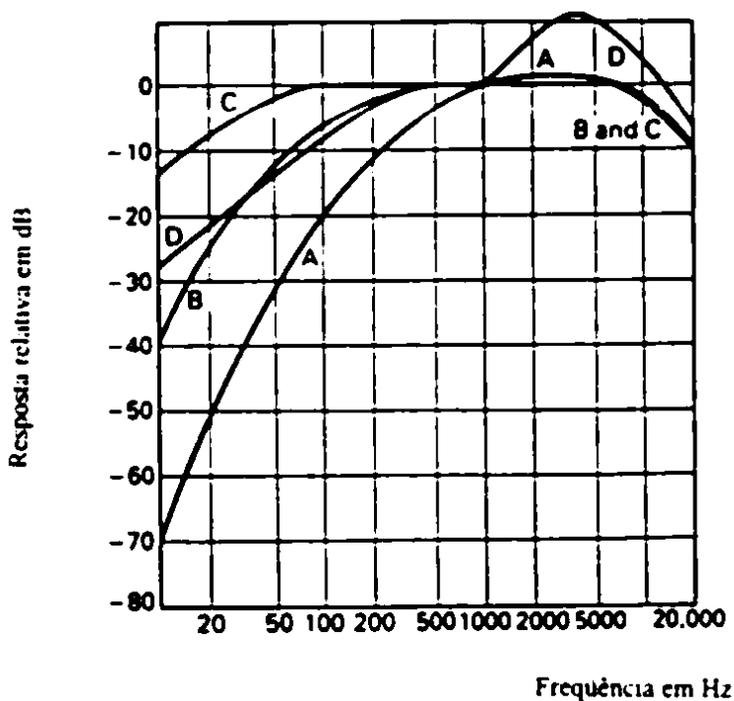
Um dosímetro é como um medidor de nível de ruído que, também armazena as medidas de nível sonoro e as integra ao longo do tempo, provendo uma média das leituras Leq - Nível de Ruído Equivalente, para um determinado período de tempo, Ibid. (44).

Corriqueiramente esse tipo de aparelho é chamado de Decibelímetro. O dosímetro é aquele que, além dessas funções, possui filtros que possibilitam leituras em várias faixas de frequência, fornecendo assim, também o espectro de frequência do ruído medido, Ibid (44).

### 3.10 Curvas de Ponderação Sonora

Para comparar sons diferentes e complexos, é necessário medir todo o espectro desses sons. Frequentemente são feitas medidas para cada oitava e 1/3 de oitava, começando em 63 ou 125 Hz. Usando o Fon, é possível calcular uma representação gráfica que refere ao volume do som (gráfico do espectro de frequência do som).

Conforme anteriormente discutido, a resposta do ouvido humano varia de acordo com a frequência e com o nível do ruído. Por esta razão, utiliza-se um sistema de curvas de ponderação para estimar a resposta do ouvido humano a um dado ruído.



**Figura 3.2** - Curvas de Ponderação Sonora: A, B, C e D

**Fonte:** BERTOLI, (4).

Onde:

**Curva de ponderação A** - usada para níveis de volume sonoro abaixo de 55 fons, unidade de medida [**dB (A)**];

**Curva de Ponderação B** - usada para níveis de volume sonoro entre 55 e 85 fons, unidade de medida [**dB(B)**];

**Curva de Ponderação C** - usada para níveis de volume sonoro acima de 85 fons, unidade de medida [**dB(C)**];

**Curva de Ponderação D** - usada para calcular o aumento na perturbação produzida por sons agudos de alta frequência, como aqueles gerados pelas frequências das aeronaves modernas; unidade de medida [**dB(D)**].

## **4. O RUÍDO NO TRANSPORTE EM GERAL E SUAS CONSEQÜÊNCIAS**

### **4.1 Aspectos Gerais do Ruído Gerado pelos Meios de Transporte**

A conseqüência da exposição das pessoas ao ruído provocado por vários meios de transporte vem sendo estudada em vários países.

De acordo com NELSON (46), a porcentagem de pessoas expostas ao ruído varia substancialmente de um país para outro, de acordo com os hábitos da população e dos meios de transportes mais utilizados. Comumente, a quantidade de pessoas expostas ao ruído de aeronaves é sempre menor do que a quantidade de pessoas expostas ao ruído do tráfego geral.

No Japão, mais de 30% da população encontra-se exposta a níveis de ruído de tráfego superiores a 65 dB (A), enquanto menos de 1% é exposta a níveis similares de ruído de aeronaves. No Estados Unidos da América, a distribuição dos percentuais de pessoas expostas a esses dois tipos de ruído é mais regular, onde 6% da população aparece exposta a ruídos de tráfego superiores a 65 dB(A) e 2% aos mesmos níveis de ruído de aeronaves.

No Brasil, não foram localizados trabalhos ou dados relativos à população de forma geral; existem alguns estudos específicos em grandes centros urbanos como São Paulo, Curitiba e Florianópolis, que se referem ao nível de pressão sonora verificado em ruas e avenidas, indicando um nível quase sempre superior a 65 dB(A) [de 80 a 100 dB(A)], porém não é relacionado o percentual da população que estaria exposto a esse ruído e nem por quanto tempo, NELSON (46).

O impacto causado por ferrovias é geralmente compatível com os percentuais observados no ruído de aeronaves. Aproximadamente, 1 a 2% da população de países desenvolvidos está exposta a níveis de ruído superiores a 65 dB (A), causados pela circulação de trens, *Ibid.* (46).

O desenvolvimento de veículos mais silenciosos, especialmente a partir dos anos 90, na Comunidade Européia, tornou-se uma tendência mundial em função da legislação, cada vez mais rigorosa, que regulamenta os níveis de emissão de ruído permitidos, adotada pelos países desenvolvidos. Além disso, a legislação para a construção de rodovias, ferrovias e aeroportos também se tornou mais austera quanto aos impactos ambientais. Suas medidas protecionistas vêm melhorando sobremaneira a qualidade de vida da população, em comparação com os resultados dos critérios vigentes nos anos 70. Ainda que essas legislações variem de um país para outro, há uma tendência comum para tornar os limites mais rigorosos, *Ibid.* (46).

Quanto maior o número de pesquisas implementadas no sentido de baixar os níveis de ruídos produzidos pelos diferentes meios de transportes, maior será a redução no número de pessoas expostas; estima-se que a redução na quantidade de pessoas expostas a níveis de ruído superiores a 65 dB (A) possa chegar a 30% na Suécia, 60% na Dinamarca, 50% na França e 55% na Noruega, *Ibid.* (46).

De acordo com ROO (57), o ruído do tráfego rodoviário é considerado a maior parcela de ruído provocado por meios de transportes no mundo, e constitui um problema ambiental global, apesar de muitos ambientalistas o verem como um problema localizado.

Os governos e autoridades rodoviárias tendem a tratar o abatimento do ruído de tráfego valendo-se de duas medidas: a) redução da propagação do ruído, por meio de barreiras acústicas e b) proteção do receptor, através de edificações (casas) com paredes isolantes, ROO (57).

Nos veículos rodoviários existem duas fontes geradoras de ruído: uma é o veículo com suas partes mecânicas móveis, sobre as quais os fabricantes atuam, e a outra é o contato entre a roda e a via, *ibid.* (57).

Deste modo, a geração de ruídos dos veículos é determinada pelos seguintes fatores:

- propriedades mecânicas e acústicas do veículo;
- propriedades mecânicas e acústicas dos pneus;
- propriedades mecânicas e acústicas da superfície de rolamento;
- forma de dirigir do condutor do veículo.

Os primeiros dois fatores são inicialmente determinados pelos fabricantes dos veículos, dentro dos limites estabelecidos pelas leis nacionais e internacionais, *ibid.* (57).

A diferença das leis regulamentares sobre emissão de ruído de veículos nos diferentes países faz com que seus respectivos fabricantes atuem de modo a pressionar as autoridades competentes no sentido de se reduzir as exigências legais dos diversos mercados. Portanto, somente uma harmonização das leis regulamentares nesses países propiciaria efetiva redução do ruído veicular na fonte. O desenvolvimento e a implementação de padrões internacionais viriam a contribuir consideravelmente para essa meta, promovendo uma padronização na metodologia dos testes (ensaios) e em suas especificações, *ibid.*(57).

Na maioria dos países Europeus os testes acústicos para aprovação de veículos foram inicialmente baseados na Norma ISO 362 de 1962 (rev. 1981 e 1994), e, desde 1970, a emissão de ruídos veiculares vem se submetendo aos regulamentos da União Européia (European Union – EU) e do Conselho Econômico para as Nações Unidas da Europa (Economic Council for Europe – ECE), ROO (57).

Nos Estados Unidos e nos países da Ásia os limites e os métodos adotados são similares e também baseados nas especificações da Norma ISO 362. Na Europa os limites vêm se reduzindo com o passar dos anos, de 82 dB(A) originais para 74 dB(A), no caso dos carros de passeio, e de 91 dB(A) para 80 dB(A), no caso de caminhões, *Ibid.* (57).

Como, ao longo dos anos, os resultados de testes em veículos apresentaram um evidente decréscimo na emissão de ruídos, seria de se supor que tal redução tivesse resultado em redução equivalente de ruído no tráfego diário de estradas e vias urbanas. Porém, lamentavelmente, não foi o que ocorreu na realidade; as medições feitas em campo comprovaram uma redução de 0 a 1 dB(A), em veículos de passeio, e de 2 a 4,5 dB(A), nos caminhões, índices bem abaixo dos resultados dos testes. Isto se deve a diversos fatores que comprometem o grau de representatividade dos testes, tais como as seguintes diferenças:

- idade média da frota em circulação;
- tipos de pneus usados nos testes e nas ruas;
- modo de dirigir o veículo;
- velocidades e acelerações nos testes e nas ruas;
- tipos de pavimento das vias de circulação e das pistas de testes.

Atualmente, vários esforços têm sido envidados por parte de diferentes organizações, como EU, ECE e ISSO, na tentativa de solucionar este problema e padronizar

tanto os valores limites quanto os testes, e, notadamente na Holanda, vários grupos de trabalho têm buscado maiores informações sobre as origens da perturbação do tráfego rodoviário, ROO (57).

KURRA, et al. (38) apresentaram um estudo ambiental simulado para determinar os efeitos do nível de ruído e a influência do tipo de fonte nas respostas de perturbação relacionadas a diferentes ruídos de transporte. O estudo foi realizado através de pesquisa, em laboratório, com questionários de 64 perguntas, aplicados a 192 pessoas em três sessões de 30 minutos, sobre perturbação nas atividades de leitura e audição, reproduzindo o ambiente de suas casas.

As fontes de ruído comparadas foram as de tráfego rodoviário, ferroviário e aeroviário, cujos níveis de ruído variaram entre 30 dB(A) e 55 dB(A), em pressão total equivalente para ruído interno, isto é, dentro de edificações.

A sugestão de 45 dB(A) para o limite de ruído interno foi utilizada neste estudo, uma vez que esse nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq) corresponde ao 4º grau de perturbação, o qual, de certo modo, identifica uma situação neutra em salas de visita. Acima deste nível de ruído, ocorre prontamente um súbito aumento da perturbação. Além disso, verificou-se durante o estudo que este limite sonoro equivale ao ponto de coincidência entre as três fontes estudadas, no gráfico de perturbação gerado em função respostas.

A significância do efeito do tipo de fonte na perturbação foi detectada para níveis de perturbação iguais a 0,03 e 0,02, ou 3% e 2%, para a maioria das questões formuladas na pesquisa, e, no geral, a perturbação se manteve abaixo de 0,05, ou 5%. Porém, as respostas à perturbação obtidas pelo referido estudo revelaram notável intensidade, comparando os resultados previstos experimentalmente com os resultados de campo.

Isto significa que, apesar de obter-se significância dentro das questões formuladas, o tipo de fonte não consiste em alto fator determinístico para os pesquisadores, quando os indivíduos estão dentro de suas casas, ocupados com afazeres diários, exceto para o ruído

de sobrevôos de jatos comerciais. Verificou-se, no entanto, que o efeito do nível de ruído é muito mais pronunciado (com doses crescentes nas linhas de perturbação), quando comparado àquele demonstrado nos estudos de campo, KURRA et al. (38).

Por outro lado, o ruído ferroviário mostrou-se como a mais proeminente fonte de ruído na perturbação geral, especialmente para níveis de ruídos baixos a moderados, sobretudo em países como o Japão, onde as ferrovias são largamente utilizadas como sistema de transporte de superfície, *ibid.* (38).

Na segunda parte do trabalho, KURRA et al. (39) verificaram que usualmente o ruído dos meios de transportes causa perturbação à leitura e à escuta numa escala crescente.

Para a leitura, um acréscimo de 10 dB (A) no ruído interno, corresponde a um aumento linear (constante) do grupo de valores médios em perturbação – 1,24 pontos, em uma escala que vai de 1 a 7 para valores médios de perturbação em função do Nível de Pressão sonora Equivalente (Leq). Para a escuta, este aumento é exponencial, mesmo com níveis de ruído abaixo de 45 dB (A), sendo que o valor médio da perturbação eleva-se em até 2,4 pontos na escala para altos níveis de ruído.

Essa diferença entre o resultado da perturbação na leitura e na escuta se explica pelo fato de que a leitura requer o uso de uma pequena parte da memória, enquanto que na escuta o ser humano utiliza uma parcela maior de memória e atenção, para propiciar o desempenho interpretativo.

A análise da variância mostrou que o tipo de atividade desenvolvida pelo ser humano possui efeito significativo na perturbação causada por qualquer ruído de transporte, a partir de um nível de 0,00 dB (A). Quando análise é feita por níveis médios de ruído e não somente pelas sensações de perturbação, a significância mostrou-se aparente para 40 a 50 dB (A) e 55 dB (A), *ibid.* (39).

Ruídos intermitentes, como os das ferrovias e aeronaves, demonstraram alguma similaridade, considerando os aumentos e as intersecções nas curvas de perturbação para a

atividade de escuta. O ruído ferroviário indicou um grau de perturbação, equivalente em dB, de 3 a 4,8 dB(A) maior que o grau apresentado pelo ruído das aeronaves, provavelmente em função da frequência e do tempo de duração de cada um. E o ruído rodoviário causou um acréscimo no grau de perturbação muito mais acentuado que o apresentado pelos outros dois meios de transportes analisados, KURRA et al. (39).

Concluindo, os ruídos de transportes mais perturbadores se classificam, pela ordem, da seguinte forma: o rodoviário, em primeiro lugar; o ferroviário, em segundo; e o aeroaviário, em terceiro, *ibid.* (39).

## **4.2 O Ruído Ferroviário**

O ruído e as vibrações causados pela passagem de trens não podem ser ignorados, mesmo considerando que a parcela da população exposta aos índices inadmissíveis desse ruído é muito pequena em comparação ao número de pessoas expostas ao ruído do tráfego rodoviário.

As vibrações e o ruído emitidos por um veículo ferroviário dependem do tipo de trem em movimento, das condições de operação da via, da velocidade de percurso, das condições de manutenção das vias e do tipo de sistema de transportes, ou seja, se o transporte é de superfície, via elevada ou subterrânea (túneis), e também do tipo de superestrutura existente (fixação direta, fixação elástica, via em lastro, presença ou ausência de dispositivo para atenuação de vibrações).

O ruído irradiado pelo trem, além das vibrações, pode ser transmitido via aérea ou através das estruturas sobre as quais a via permanente está assentada. Neste estudo, o ruído

transmitido por via aérea, ou ruído primário, tem maior importância, uma vez que dele provém a perturbação aos passageiros embarcados.

Esse ruído normalmente ocorre em função do contato roda/trilho, do sistema de propulsão do trem, dos sistemas auxiliares (compressores, ventiladores, sistemas alimentadores), da velocidade de operação, do tipo de freios, e, no caso de trens de alta velocidade, do ruído aerodinâmico, quando analisado o aspecto veículo X função da superestrutura da via permanente, bem como, da infra-estrutura na qual o sistema está implantado – via elevada, superfície ou túnel.

Para melhor entendimento do assunto, faz-se necessário um pequeno histórico da evolução dos estudos e pesquisas sobre ruídos ferroviários.

Segundo THOMPSON (60), desde de 1985 o progresso do conhecimento sobre a geração e propagação do ruído ferroviário tem sido dominado pelo trabalho do Instituto Europeu de Pesquisa Ferroviária - ERRI (*European Rail Research Institute*), particularmente de seu Comitê C163, culminando no desenvolvimento e validação do "TWINS" (*Track-Wheel Interaction Noise Software*), modelo para previsão do ruído ferroviário, baseado largamente em sua tese de doutorado (1990).

THOMPSON (60) ainda descreve alguns trabalhos relacionados ao tema, começando por um estudo sobre a determinação da energia e altura da fonte geradora de ruído para o trem de alta velocidade da França - TGV, (Van der Toorn et al.) e por uma pesquisa que indica uma forma primordial, na qual o conhecimento teórico é aplicado à otimização do ruído dos componentes ferroviários, tais como fixações e amortecedores de trilhos. Este trabalho serviu de base para o projeto da ERRI (OFTWAT), que otimizou as almofadas e amortecedores de trilhos, o formato e o amortecimento das rodas, que passaram a ser testadas em campo a partir de 1995.

Os próximos objetivos nas pesquisas, de acordo com VOS (62) In: THOMPSON (60), são: a redução de 6 dB no ruído dos vagões de carga existentes, a redução de 20 dB no

ruído gerado por novos vagões e, para trens de alta velocidade, redução de 5dB no ruído aerodinâmico e pantográfico, e de 3 dB no ruído de rolamento.

Esses objetivos causaram uma considerável discussão entre os pesquisadores citados por THOMPSON (60), do tipo:

- a) não deve ser considerado apenas o pantógrafo, mas também os dois refrigeradores de óleo e os dois ventiladores, como fontes altas (localizadas na parte superior do trem), nos trens alemães de alta velocidade (ICE), conforme BARSIKOW (3);
- b) a redução de 5 dB já foi alcançada pelo uso de absorventes nas rodas do trem alemão ICE, e de 1 a 2 dB com o seu uso nos trens Holandeses de alta velocidade. A diferença de abatimento é atribuída à grande rigidez da via permanente alemã e ao fato de que o efeito dos absorventes nas rodas aumenta com a velocidade. Na Alemanha, as medições foram feitas a 200 Km/h, e na Holanda, a velocidades bem menores, THOMPSON (60).

A questão da rugosidade provoca intensos debates, a hipótese de que o espectro da rugosidade da roda e do trilho podem ser somados foi confirmada por vários artigos, porém a controversa evidência experimental, na qual o ruído de vagões de carga com rodas muito rugosas trafegando sobre trilhos bons (não corrugados) apresentou redução de 3 a 4 dB no ruído do esmerilhamento do trilho, foi questionada sobre o quanto a geometria do contato roda/trilho teria sido alterada pelo reperfilamento dos trilhos, sendo que a publicação desses resultados não se encontra disponível, Ibid. (60).

A influência do perfil lateral de rodas e trilhos, juntamente com a posição e formato da superfície de contato, têm se revelado uma importante área de insegurança, isto é, duvidosa. O fato é que o teste de planicidade das rodas, usualmente utilizado, não é um teste de ruído; a teoria não pode fornecer uma explicação corriqueira para esse efeito e devem ser sempre confirmados os perfis que poderiam controlar a redução de ruídos, THOMPSON (60).

Nessa linha de raciocínio, uma área vital para futuras pesquisas é a determinação dos mecanismos de aparecimento da rugosidade. Seria possível confeccionar rodas e trilhos com superfícies planas (lisas) na região do comprimento de onda do ruído de interesse e manter a planicidade dessas superfícies durante a sua vida útil? HÖLZL (26) referiu que o esmerilhamento das superfícies pelo contato roda/trilho pode ocasionar um comprimento de onda de 3 cm dentro da corrugação, de modo que é necessário trabalhar com um método de previsão de ruído que desenvolva o processo do esmerilhamento.

Questiona-se como os métodos de medições de ruído foram padronizados em relação à rugosidade. O método de medição foi planejado, suficientemente avaliado e assegurado para permitir que as medições de rugosidade fossem incluídas na padronização? Segundo HÖLZL (26), essas medidas não foram universalmente planejadas e outros pesquisadores da área acreditam que nem tudo e nem todo tipo de rugosidade está contemplado no modelo padronizado, devendo este sofrer evoluções.

Em seu trabalho, HÖLZL (26) indica que os resultados de campo obtidos pela *International Union of Railways* - UIC e pela ferrovia alemã *Deutsche Bahn* - AG (DB AG), em vagões de carga, constataram que as fontes dominantes de ruído provêm da interação roda/trilho em velocidades próximas de 80 Km/h, com níveis de pressão sonora na curva de ponderação A, e que os níveis de ruído irradiados são fortemente influenciados pelo tipo de sistema de freios, tanto quanto pelas condições da superfície dos trilhos. Outros parâmetros menos expressivos aparecem no estabelecimento dos níveis de ruído lateral. As medições feitas para localizar as fontes de radiação do ruído em determinados vagões implementaram o conhecimento dos mecanismos envolvidos e o estudo das ações de atenuação no nível do ruído de rolamento. Os estudos demonstraram ainda que vagões equipados com disco de freios, a 100 Km/h, têm como fonte principal de ruído a região do contato roda /trilho, localizada aproximadamente 0,2 m acima da superfície de rolamento, e que esse sistema de freios gera um nível de pressão sonora cerca de 10dB(A) menor que o dos vagões equipados com sapatas de freio. A faixa de frequência dominante para esse ruído foi de 1600 Hz, em banda de 1/3 de oitava, e de 1500 a 4500 Hz, para velocidade de 80 Km/h.

A maior eficiência do freio a disco se deve, principalmente, ao fato de que esse tipo de freio não causa corrugação nas rodas, como ocorre com as sapatas, que atuam diretamente na superfície de rolamento, demonstrando quanto a rugosidade das superfícies de rolamento contribui para a produção de ruído. Os resultados demonstraram também que rodas com a superfície plana (lisa) produzem níveis de ruído laterais menores em cerca de 5 dB(A), se comparados a vagões de carga equipados com freio a disco, porém sem os absorventes de ruído habitualmente usados nos trens de alta velocidade ICE, tais como rodas com anéis insonorizadores, HÖLZL (26).

### **4.3 Normas e Legislações para Ruídos Ferroviários**

No Brasil existem duas Normas específicas para o ruído de trens metropolitanos, ambas elaboradas pela ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, em Janeiro de 1994. São elas: a NBR 13067/1994 - "Carro Metropolitano - Determinação dos Níveis de Ruído - Método de Ensaio" e NBR 13068/1994 - "Ruídos Interno e Externo em Carro Metropolitano - Procedimento".

Na NBR 13067 (1) estão descritos os passos a serem seguidos para a execução de testes para medição do ruído interno e externo ao carro, especificando as condições deste, o tempo e velocidade do vento, posição dos microfones, tipos de aparelhos medidores, condições da via permanente, etc., para ensaios estáticos e/ou dinâmicos e em diversas situações, com o trem partindo e chegando às estações, bem como passando entre elas.

Basicamente as condições preconizadas para a medição de ruídos requerem a disponibilização de uma composição ferroviária em operação exclusiva, isto é, sem passageiros embarcados ou nas plataformas e com no máximo quatro técnicos nas proximidades dos microfones, trafegando à velocidade máxima de operação em cada trecho com todos os equipamentos auxiliares funcionando à carga máxima; o trecho de via deve

ser em linha reta (tangente), em nível, sem ondulações e sem juntas entre trilhos (trilhos continuamente soldados), e as rodas dos carros não poderão apresentar calosidades, ou seja, trem e via em condições ideais de funcionamento e operação.

Já a NBR 13068 (2) estabelece os níveis de ruído máximos admissíveis interna e externamente ao carro, nas condições estática e dinâmica, junto às estações e entre elas, na área destinada aos passageiros e dentro da cabina do operador do trem; esta norma traz ainda uma tabela de correção para ruídos intermitentes.

O Ruído Interno deve ser menor que os valores abaixo descritos:

- Salão de Passageiros: o nível de pressão sonora ponderada (Leq) deve ser de, no máximo, 80 dB(A);
- Cabina do Operador: o nível de pressão sonora ponderada (Leq) deve ser de, no máximo, 75 dB(A).

O Ruído Externo deve atender os seguintes valores, nas condições estática e dinâmica:

- Estático (com o trem parado): o nível de pressão sonora ponderada (Leq) deve ser de, no máximo, 80 dB(A);
- Dinâmico (com o trem em movimento): o nível de pressão sonora ponderada (Leq) para composições partindo, chegando e passando pela estação deve ser de, no máximo, 85 dB(A), e, trafegando entre estações (via elevada ou em superfície) de, no máximo, 90 dB(A).

As normas internacionais suíço-holandesas relativas ao método de ensaio para determinação dos níveis de ruídos dos carros metropolitanos são IEC 225 - *"Octave, half-octave and third-octave band filters intended for the analysis of sounds and vibrations"*

(Filtros de bandas de 1/2 de oitava e 1/3 de oitava para a análise de ruídos e vibrações) e IEC 651 - "*Sound level meters*" (Medições de Níveis de Ruído).

Anualmente milhões de dólares são gastos desnecessariamente pela indústria ferroviária nos Estados Unidos da América com permissões, penalizações e medidas mitigadoras ambientais, além dos milhões necessários ao atendimento das leis federais, BORDENAVE (6).

O controle do ruído ferroviário, sobretudo dos trens de carga nos Estados Unidos da América, está sob responsabilidade do Departamento Americano de Transportes - *US. Department of Transportation*, que publicou o Manual de Bolso para Medições e Análises do Ruído Ferroviário, cujo objetivo é prover instruções de forma resumida para medidas de campo e avaliação do ruído ferroviário. Antes da implantação de um novo sistema de transporte de superfície com financiamento público, o *US. Department of Transportation* determina que seja feito um estudo abrangente para comparar custos e benefícios, alternativas de rotas e locações para diferentes meios de transportes (ônibus e ferrovia), porém nos estudos sobre impactos ambientais devido aos ruídos gerados pela nova fonte, os métodos utilizados não eram satisfatórios.

Em 1996, um novo critério de avaliação de ruído foi, então, desenvolvido para ser usado na implantação de novos sistemas de transportes de superfície, rodovias e ferrovias de alta velocidade nos Estados Unidos da América pelo Departamento Americano de Transportes. Esse critério é sensível ao aumento da perturbação do ruído nas comunidades, causada por eventos ruidosos, ocorridos no final da noite ou início da manhã, e à reação variável da população a novos projetos, sob diferentes vivências das condições de ruído. O critério de impacto sonoro propõe abranger todos os projetos de transporte urbano, os pátios de estocagem e manutenção, as estações e os terminais de passageiros, bem como as facilidades de estacionamento e a utilização de medidas da pressão sonora de 24 horas,  $L_{dn}$  (dia e noite), quando a área é ocupada por hospitais e hotéis e por edificações com atividades exclusivamente diurnas, bem como a utilização de medidas de pressão sonora equivalente  $Leq$ , HANSON (23).

No Japão, a legislação para trens de alta velocidade é mais severa do que a européia e do que a própria legislação japonesa para ferrovias convencionais, de modo que a ferrovia convencional japonesa causa mais perturbação à população, quando comparada à ferrovia de alta velocidade, porque ainda não existe um guia normativo estabelecendo a padronização da qualidade ambiental para as ferrovias de baixa velocidade, devido à variedade no número de operações, tipos de trens e suas velocidades operacionais. Esse comparativo estendeu-se também aos modais rodoviário e aeroviário, sendo que a legislação para o trem de alta velocidade é mais rigorosa para os limites de ruído equivalentes do que para veículos rodoviários e aviões, KAKU e YAMADA (34).

A legislação européia tem por objetivo proteger seus cidadãos contra ruídos indesejáveis no meio ambiente. Ela se aplica aos fortes ruídos impostos às pessoas dentro de seus domicílios ou em suas proximidades, em parques ou outros locais de tranquilidade, em áreas com prédios, em distritos relativamente calmos, em campo aberto, em escolas e suas proximidades, em hospitais e suas adjacências, e em outras áreas construídas ou sensíveis ao ruído, EUROPEAN REPORT (12).

Em 1994, o Comitê C163 do Instituto Europeu de Pesquisas Ferroviárias tomou a iniciativa de investigar o "status" das regulamentações e padronizações da emissão de ruídos por veículos ferroviários na Europa. Chegou-se à conclusão que ainda há muito a ser feito e pesquisado no que se refere à implementação em campo das medidas necessárias ao controle do ruído. Colocar em prática medidas definidas pelos pesquisadores constitui um sério problema na Europa, em virtude da integração da malha ferroviária e de seu uso compartilhado por diferentes países, com diferentes limites para emissão de ruídos, VOS (62).

No 5º "*Workshop*" Internacional sobre Ruído de Ferrovias e Transporte sobre Trilhos, ocorrido em 1995, na Noruega, setenta especialistas de onze países se reuniram para trocar informações e conhecimentos, bem como discutir vários aspectos sobre ruídos e vibrações, representando cinquenta e cinco instituições e companhias. Nesse encontro foram discutidos basicamente três assuntos concernentes ao transporte de cargas na Europa:

estratégias para o controle do ruído e vibrações, pesquisas necessárias e disseminação do conhecimento, RINGHEIM (56).

As soluções implementadas pelas companhias ferroviárias têm sido especificamente localizadas e não levam em conta a possível implantação futura de uma política integrada de emissão de ruídos ferroviários para a Europa. Nessas bases, a ferrovia alemã desenvolveu um Sistema de Geoprocessamento de Informações aliado a parâmetros acústicos e operacionais, tais como: número de trens, rotas utilizadas, velocidades de tráfego, limites legislativos de ruído, etc. Este sistema permite calcular as conseqüências acústicas da operação e seus custos, para a introdução de providências como: barreiras acústicas, proteção acústica de edificações, projeção do número de pessoas e da área atingida por determinado nível de ruído, JANSSEN (29).

Segundo KURZE (40), as normas suíças "*Noise Emission Limitation of Rolling Stock*" (Limitação do ruído de rolamento) se limitam aos novos carros de passageiros e veículos propulsores (dotados de motores de tração). O Código Austríaco para Ruído de Veículos Ferroviários de 1993 contém um plano completo para veículos novos e existentes a partir do ano de 2002, baseado em experiências acústicas para diferentes tipos de veículos. A minuta das regulamentações italianas propõe a implementação do controle de ruído em dois estágios, em conformidade com a situação atual e agendada para os anos de 2002 e 2012.

A Agência Federal de Meio Ambiente – UBA da Alemanha, vem organizando e compilando estudos e normas técnicas para o controle eficiente do ruído do tráfego ferroviário, apresentando, assim, um avanço considerável em relação aos demais países da Comunidade Européia. Com a aplicação da Lei alemã "*The Dutch Decree for Railway Noise Pollution*" (Bgs, 1989) (Decreto alemão para poluição sonora ferroviária) na construção de novas ligações ferroviárias e alterações físicas na infra-estrutura de ligações existentes (extensões de ramais), bem como no desenvolvimento de novas áreas residenciais, não houve acréscimo na poluição sonora. Além disso, a ferrovia alemã *Deutsche Bahn* AG adotou em 1998 a nova regulamentação para redução do ruído nos veículos existentes, especialmente nos vagões de carga, baseada no LTN - "*Low-Noise-*

*Train and Programme Description 1996*” (Trem de baixo ruído e descrição do programa 1996), no *“Developmente Programme for Low Noise Rail Systems of DB AG, FS S.P.A. and ÖBB”* (Programa para o desenvolvimento de sistemas ferroviários de baixo ruído da DB AG, FS S.P.A. e ÖBB) e no estudo da DB AG *“Low-Noise and Low-Cost Rolling Stock for Frigth Traffic”* (Baixo ruído e baixo custo de rolamento para tráfego de carga), KURZE (40).

Já para a aplicação da legislação suíça, são necessárias: uma estimativa das medidas de controle de ruído que esteja em conformidade com as leis, uma estratégia específica e o uso de barreiras para o controle de ruídos, além de controle de ruído nos veículos, procedimentos operacionais, aceitação da estratégia e novos estudos, OERTLI e WASSMER (48).

A existência de diferentes projetos de infra-estrutura ferroviária na Suíça fez com que fosse desenvolvida e introduzida uma nova padronização para medidas de mitigação de ruídos e vibrações em vários sistemas, situações e configurações ferroviárias: linhas em túneis e superfície, lastreada ou em concreto, baixa e alta velocidade, veículos leves e pesados, etc. Por exemplo: as primeiras aplicações de manta sob o lastro causaram a instabilidade da via e, posteriormente, novas concepções, como o uso de mantas elastoméricas foram testadas, comprovando-se a eficiência do uso de massa mola na mitigação do ruído secundário sobre a vizinhança da ferrovia, ZACH (66).

De acordo com JÄCKER e FRIEDRICH (28), medidas efetivas para controle e redução do ruído do tráfego ferroviário na Europa estão sendo implementadas, graças aos avanços da legislação de alguns países, tais como:

- a locomotiva mais silenciosa do mundo, "Lok 2000", fabricada pela SLM com uma redução potencial de 7-14 dB(A), se comparada com as locomotivas convencionais;
- o novo "S-train" em Copenhague, com redução de cerca de 7 dB(A);

- os vagões alemães de carga de baixo ruído, com a troca dos blocos de freio de ferro fundido por blocos compostos (redução de aproximadamente 9dB(A), ou com a incorporação de medidas de redução de ruídos nos trens de baixo ruído (carga) da DB, ÖBB e FS (redução de aproximadamente 20 dB(A), particularmente com o uso de freio a disco).

Para que esses avanços se tornem mais e mais usuais, a Comunidade dos Países Europeus está implementando leis de âmbito geral, a serem adotadas por seus países membros, com vistas à equalização das normas e procedimentos sobre o controle do ruído ferroviário. Em novembro de 1996, foi publicado o chamado "*Green Paper of the European Commission on the Future Noise Policy*" (Documento da Comissão Européia sobre a política futura sobre ruído), documento considerado como o primeiro passo em direção ao desenvolvimento de um programa e de meios para estimular a discussão pública da política para controle e redução do ruído ferroviário em um futuro próximo, levando em consideração os limites de emissão de ruídos. A Resolução da Conferência sobre o "*Green Paper*", em maio de 1997, concluiu que, sem o estabelecimento dos limites de emissão de ruído para toda a Comunidade Européia, dificilmente alguma operadora ou organização de infra-estrutura ferroviária investiria em tecnologia para um projeto de redução.

Na Inglaterra, foram desenvolvidas e implantadas medidas de controle de ruído especialmente para a linha de trem metropolitano "*Docklands Light Railway*" (DLR), que liga "*Isle of Dogs*" ao centro de Londres, com extensão total prevista de 25,8 Km, sendo 1,6 Km em túneis. O ruído é considerado um assunto grande seriedade pela DLR, não porque os veículos ferroviários sejam considerados barulhentos, mas porque a ferrovia atravessa áreas ocupadas por muitos prédios e condomínios residenciais fechados. O programa da DLR para controle do ruído gerado na operação dos trens foi apresentado ao Parlamento Inglês e só obteve aprovação mediante a inclusão de uma cláusula de monitoramento anual do ruído, após o início das operações. O controle do ruído se mostrou eficiente com a adoção de barreiras acústicas como principal medida para mitigar o impacto sonoro, através dos dados colhidos *a posteriori*, FITZGERALD (14).

Várias considerações sobre ruído têm sido discutidas quando se trata da implantação de uma nova ferrovia, no caso da ligação exclusiva de carga denominada "*Betuwerote*", entre Rotterdam e um porto na Alemanha. A comunidade exigiu das autoridades medidas específicas para o controle do ruído, porém estudos feitos pelo Órgão Holandês de Pesquisas Ferroviárias deixou claro que a perturbação causada por esse tipo de transporte (carga), em uma frequência maior de tráfego, não é diferente daquela gerada por frequência de tráfego menor, não havendo necessidade de medidas adicionais para o controle, JONG e MIEDEMA (32).

Na Noruega, a preocupação com os ruídos e vibrações foi decisiva na construção da primeira linha de trem de alta velocidade, que liga Oslo ao aeroporto de Gardermoen, pois atravessa uma região populosa. A seriedade com que o projeto foi tratado refletiu a preocupação das autoridades norueguesas em estabelecer limites bastante rígidos para o ruído gerado, diferenciado quanto ao horário (diurno e noturno), quanto ao tipo de ruído – aéreo, estrutural (secundário) – e quanto às vibrações, JUTULSTAD (33).

Atualmente, os legisladores estão convencidos de que é essencial encontrar novas soluções para o problema do ruído do tráfego ferroviário. Nos Países Baixos, três estudos serviram de base para as decisões normativas. O primeiro estudo demonstrou que a redução de parte do ruído produzido na fonte significa uma economia dez vezes maior no custo de barreiras e paredes isolantes, para o período de 2000 a 2010, equivalendo a total aproximado de 0,85 bilhões de Euros. O segundo estudo indicou que os investimentos para redução do ruído na fonte podem promover significativo benefício financeiro. Finalmente, o terceiro estudo mostrou que uma ampla visão geral do potencial técnico do desenvolvimento de trens silenciosos está sendo avaliada, JANSSEN e VOS (30).

O objetivo dessas legislações é proteger as pessoas da poluição sonora. É comum haver grande pressão social no sentido de se estabelecer um maior rigor na legislação sobre ruídos, com base na premissa de que uma das mais nocivas conseqüências dos sistemas de transportes são os distúrbios causados à saúde causados pela perturbação ambiental.

#### 4.4 Alguns Métodos para Previsão do Ruído Ferroviário

Desde 1985 as pesquisas sobre ruído ferroviário têm sido lideradas pelos Europeus, e THOMPSON (60) descreve quais os principais trabalhos elaborados nessa área, citando alguns autores. O trabalho sobre vagões de carga mais silenciosos mostrou a importância da superfície de contato entre trilhos e rodas e da influência do sistema de freios utilizados nos veículos ferroviários na geração de ruídos, HÖLZL (26).

Os dados levantados por BARSIKOW (3) sobre o ruído gerado pelo trem de alta velocidade da Alemanha, chamado ICE em 1994, fazem parte de uma espécie de banco de dados, e até hoje são utilizados por vários outros pesquisadores como parâmetros para suas comparações e conclusões.

O antigo método nórdico para Previsão do Ruído Ferroviário foi concebido em 1984. Tratava-se de um método manual para traçados geométricos simples que, no período de 1993 a 1994, necessitou de revisão completa e aprofundada. O método revisado surgiu como uma ferramenta do planejamento e passou a ser utilizado para calcular o nível de energia sonora equivalente a 24 horas ( $L_{eq} 24$ ) e o nível de ruído máximo ( $L_{max}$ ) para cada trem. Os resultados são apresentados na curva de ponderação A dB(A), porém os níveis de banda de oitava devem ser calculados, RINGHEIM (56).

Os métodos de previsão de ruído ferroviário ganharam, em 1990, um grande impulso com a criação de um programa digital para avaliação do ruído do contato Roda/Trilho, "TWINS" (*Track-Wheel Interaction Noise Software*), elaborado por um grupo de cientistas e pesquisadores de vários países, reunidos na mesma pesquisa. Esta iniciativa possibilitou o desenvolvimento de soluções inovadoras e da otimização do perfil das rodas e seus componentes. Novas medições com microfones possibilitaram uma descrição mais detalhada e apurada das fontes de ruído e o melhor entendimento do fenômeno da geração e da propagação do ruído. Entretanto, a origem do crescimento da rugosidade, especialmente nos trilhos, requer estudos futuros. Lamentavelmente, as técnicas de abatimento de ruído

não evoluíram muito em relação ao início das pesquisas. Não basta apenas investir em novas pesquisas, é preciso também que seja implementado um maior uso de soluções inovadoras, VOS (63).

HOOPMANS et al.(27), descreveram um novo método para calcular o decaimento, a perda no nível de pressão sonora, com o aumento da distância em trilhos ferroviários durante a passagem dos trens, e comparou-o com os outros métodos utilizados. Geralmente o trilho é instrumentado, causando uma excitação à passagem do trem, cuja resposta é medida para diferentes distâncias. Neste método é dispensada a passagem dos trens, utilizando-se sinais de vibração semelhante, que simulam a passagem daqueles, com a vantagem de não interferir na operação da linha. Este método possibilita a avaliação das palmilhas amortecedoras dos trilhos.

Outros métodos foram desenvolvidos para uma investigação mais singular do ruído ferroviário, tal como o modelo básico de métodos recíprocos. Este método vem sendo usado para avaliação da performance de medidas locais em veículos ferroviários dentro de uma configuração estatística; nele foram propostas três substituições acústicas dos modelos das fontes, e incluem, todas, os aspectos característicos do rolamento das rodas, GEERLINGS et al. (19).

Assim como o estudo dos raios de energia acústica vem sendo utilizado na investigação da eficiência de barreiras acústicas aplicadas em ferrovias, o *software* (programa de computador) “*RAYNOISE*” foi desenvolvido de modo a permitir a modelagem de vários tipos e formatos de barreiras, com a inclusão de configurações de absorção e reflexão em diferentes ângulos. Nessas simulações conclui-se que os raios sonoros são importante ferramenta na investigação da eficiência de barreiras acústicas e que a exatidão do cálculo dos níveis de pressão sonora na curva de ponderação A, dB(A), está dentro dos limites aceitáveis, HAAREN e TOL (22).

Nessa mesma linha de pesquisa, também foi desenvolvido pelo Martin Centre da Universidade de Cambridge, na Inglaterra, o *software* TNS (*Train Noise in Stations*), para prever a distribuição espacial e temporal do ruído do trem em estações subterrâneas, KANG

(35). Nessa modelagem, o trem é visto como uma série de seções, e o seu ruído, distribuído na estação, é calculado pela entrada de som atenuado, da seção geradora de som do trem, no sistema subterrâneo (túnel e estação). Essa entrada pode ser obtida por uma escala de modelagem física. A precisão do TNS, numa estação do Metrô de Londres, mostrou bons resultados para as medidas laterais e contribuiu para importantes conclusões sobre a eficiência do tratamento acústico na estação.

## **4.5 Os Efeitos do Ruído de Transporte sobre o Ser Humano**

### **4.5.1 Generalidades**

Os efeitos do ruído sobre as pessoas são variados e muitas vezes se apresentam correlacionados. Por exemplo, a interferência na audibilidade da fala pode resultar em perturbação e cansaço; por outro lado, o cansaço pode exacerbar a perturbação. Existem também inter-relações entre o estado geral de saúde dos indivíduos e os vários efeitos do ruído.

O impacto do ruído vem deteriorando a qualidade de vida dos indivíduos, em virtude de sua interferência na comunicação, das perturbações no sono, estresse, sensações desagradáveis e da redução do rendimento em ambientes de trabalho e escolares, que se traduz em perdas sociais e econômicas, BRAGA e SANTOS (7).

Ficou demonstrado, através de medições, que, se um indivíduo fica exposto continuamente a um alto nível de ruído no trabalho ou na condução (tráfego), tende a perder a audição, de forma a necessitar de níveis cada vez mais altos para perceber o som, seja ouvindo música, seja no ambiente que o cerca, YEAROUT (65).

Em decorrência desse quadro, algumas pesquisas foram feitas junto a diferentes comunidades para avaliar os efeitos do ruído de sistemas de transportes ferroviários sobre os indivíduos.

Na Suécia, foram investigadas quinze localidades próximas à ferrovia, quanto ao efeito da exposição ao ruído ferroviário. Efeitos de perturbação do sono, distúrbios físicos e sociais, nas mais diversas atividades, foram mencionados nos relatórios dos moradores dessas localidades, ÖHRAATRÖM e SKANBERG (49).

Na França, uma pesquisa social foi realizada em 1993 para examinar o impacto do ruído sobre os moradores lindeiros à linha de trens de alta velocidade, *TGV Atlantique*, ao longo da qual foram instaladas barreiras acústicas e bermas de terra, com o objetivo de atender à legislação, que determina para o ruído diurno (das 8 horas da manhã às 8 horas da noite) uma medida de nível de pressão sonora equivalente  $Leq < 65 \text{ dB(A)}$ , LAMBERT et al. (41).

O estresse pode ocorrer pela presença de ruído, induzindo a mudanças fisiológicas no corpo e declínio do estado geral da saúde e bem-estar. Para facilitar o entendimento do assunto, os efeitos do ruído podem ser classificados em três categorias:

- efeitos sobre a saúde;
- efeito sobre as atividades diárias, incluindo o distúrbio do sono;
- perturbação.

#### **4.5.2 Efeitos sobre a Saúde**

Segundo NELSON (46), existem várias definições de saúde, porém a mais apropriada é aquela usada pela Organização Mundial de Saúde: “Saúde é o completo estado de bem-estar físico, mental e social e não meramente a ausência de doenças e enfermidades”. Para a maior parte das pessoas, o bem-estar é eliminado pelo ruído, o que

vem atestar, indubitavelmente, que o ruído afeta a saúde. Sons muito altos causam danos às pessoas e aos animais, uma sirene de 20 kHz, emitindo de 160 a 165 dB pode causar a morte de moscas e larvas, mesmo que estas sejam expostas por curto período de tempo. Submetidas a exposições dessa ordem, as pessoas começam a ficar atordoadas e fatigadas, podendo mesmo experimentar dor e rubor facial. Esses efeitos definidos vão diminuindo com a redução da pressão sonora, sendo que, para níveis de pressão em torno de 120 dB(A), as reações ao ruído vão se tornando ambíguas. Para os níveis de exposição normalmente associados com o transporte, as reações individuais serão consideravelmente amplas. Estima-se, por exemplo, que 13 milhões de americanos estão expostos a um nível de pressão sonora igual ou maior que 75 dB(A) nos transportes e nos veículos de recreação, quando a OECD - Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (França) sugere que a estimativa é de que somente 1% da população está exposta diariamente a níveis de ruído superiores a 75 dB(A), conforme ilustrado no exemplo da tabela 4, NELSON (46).

**Tabela 4.1** - População Exposta ao Ruído Rodoviário em alguns países

<b>RUÍDO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO</b> (% Porcentagem da População Nacional Exposta por Níveis de Ruído)										
<b>Nível de ruído medido do lado externo da fachada de um edifício Leq [ dB(A)]</b>	<b>Estados Unidos da América</b>	<b>Japão</b>	<b>Bélgica</b>	<b>França</b>	<b>Alemanha</b>	<b>Noruega</b>	<b>Espanha</b>	<b>Suécia</b>	<b>Suíça</b>	<b>Reino Unido</b>
<b>≥ 55</b> <b>O sono pode ser perturbado com as janelas abertas</b>	40	80	68	47	72	22	74	38	66	50
<b>≥ 60</b> <b>O sono e a conversação podem ser perturbados com as janelas abertas</b>	18	58	39	32	46	12	50	24	28	27

<b>RUÍDO DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO</b> <b>(% Porcentagem da População Nacional Exposta por Níveis de Ruído)</b>										
<b>≥ 65</b> <b>O sono e a</b> <b>conversaço</b> <b>podem ser</b> <b>perturbados mes-</b> <b>mo com as janelas</b> <b>fechadas</b>	7	31	12	13	8	5	23	11	11	11
<b>≥ 70</b> <b>Perturbação do</b> <b>sono e da conver-</b> <b>sação; possível</b> <b>queixa.</b>	1.8	10	1	4	4	2	7	4	1	4

**Fonte:** *Transportation Noise Reference Book*, 1987, NELSON (46).

Diversas pesquisas deixam claro que o ruído induz a uma gama considerável de reações e respostas fisiológicas, tais como elevação da pressão sangüínea, do ritmo cardíaco e respiratório. Verificou-se, também, que essas reações não estão restritas aos altos níveis da pressão sonora de eventos barulhentos, ocorrendo não só dentro dos níveis comumente presentes em ambientes ruidosos como em ruas de grande volume de tráfego.

Pesquisas recentes demonstraram que os prejuízos ao sistema auditivo podem ser induzidos pelo ruído do tráfego, oferecendo riscos para o desenvolvimento da hipertensão arterial e para um maior número de doenças cardiovasculares. Os efeitos podem se tornar irreversíveis quando a exposição ao ruído é crônica, TOMEI (61).

Entretanto, não há fortes evidências de que o ruído seja, isoladamente, o causador direto de efeitos sobre a saúde, como doenças cardiovasculares, anomalias reprodutivas ou desordens psiquiátricas. O ruído poderia apenas contribuir com uma parte no processo multi-causal condutor dessas desordens. Estudos epidemiológicos poderão reproduzir correlações mais definitivas. Entretanto, ainda permanece a inerente dificuldade para isolar os efeitos sobre a saúde em baixos níveis de dosagem (associação de nível de pressão

sonora com o tempo de exposição), como é o caso dos ruídos de transportes, operando dentro de um sistema etiológico complexo.

### **4.5.3 Efeitos do Ruído sobre o Sono e sobre as Atividades Diárias**

De todos os efeitos causados pelo ruído ao homem, a interferência no sono é provavelmente o menos tolerado. A privação do sono pode ocasionar, ao mesmo tempo, efeitos fisiológicos, distúrbio nas atividades essenciais e, indiretamente, a redução da performance durante o dia, introduzindo sensação de perturbação.

Muitos desses impactos dependem principalmente do nível e do tipo do ruído atuante, bem como da fase do sono na qual o ruído é produzido. Deve-se considerar que o sono não é contínuo, mas composto de vários estágios ou fases que se organizam em ciclos repetitivos durante a noite.

Estudos realizados em pessoas durante o horário de sono revelaram o papel perturbador do ruído, sob inúmeras formas. Constatou-se que o ruído pode encurtar o período total do sono, aumentar o número de vezes em que a pessoa acorda nesse período e ainda afetar a duração dos vários estágios do sono. Pessoas expostas a ruídos apresentaram, invariavelmente, diminuição do período de sono profundo, quando comparadas àquelas que dormiam em ambientes silenciosos. Uma aparente acomodação ao barulho foi verificada nos indivíduos submetidos a baixos níveis de ruído. Entretanto, para níveis de pressão sonora superior a 60 dB(A) dentro do quarto, a acomodação é praticamente impossível, NELSON (46).

Uma pequena perda do sono por noite provoca um acúmulo no débito das horas não dormidas, e, quando as condições se alteram, também ocorre aumento do estágio de sono profundo. Isso acontece para compensar o tempo de sono perdido e é comumente chamado de efeito rebote.

Ainda de acordo com NELSON (46), as reações ao ruído durante o sono são influenciadas por dois grandes parâmetros: idade e sexo. Jovens (de 21 a 27 anos) costumam adormecer mais rapidamente e ter mais horas de sono profundo que pessoas mais velhas, e as mulheres são mais sensíveis ao ruído que os homens, especialmente em níveis mais altos, como é o caso da passagem de aviões e caminhões. Pesquisas em laboratório mostraram que para picos de ruído de 40 a 65 dB(A) ocorreram variações associadas do ritmo cardíaco e vasoconstrição, particularmente quando os níveis atingiram de 60 a 65 dB(A). Nos jovens, essa reação se revelou mais pronunciada em relação aos mais velhos. O surgimento dessas reações foi verificado nas seguinte ordem: em crianças, ao nível de 50 dB(A); em jovens adultos, a 55 dB(A); e em idosos, a 65 dB(A).

Algumas recomendações sobre níveis de ruído noturnos podem ser tomadas como exemplo: A Comissão das Comunidades Européias considera que o sono não é afetado a um nível de pressão sonora equivalente noturno - Leq<sub>n</sub> de 30 a 35 dB(A) - ou abaixo, dentro dos dormitórios, e em picos menores ou iguais a 45 dB(A); A Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (França) recomenda provisoriamente para seus países membros um nível de pressão sonora equivalente noturno - Leq<sub>n</sub> de 35 dB(A) - para a fase inicial do sono, 45 dB(A) para o sono leve e 50 dB(A) para o sono profundo. E a Organização Mundial de Saúde recomenda um nível de pressão sonora noturno para o interior de residências de 35 dB(A), durante toda a noite, NELSON (46).

Outras pesquisas que compararam o efeito do ruído de tráfego rodoviário e ferroviário no sono mostraram que o ruído rodoviário é cerca de três vezes mais perturbador que o ruído ferroviário, para um mesmo nível de pressão sonora.

MOEHLER et al. (45) confirmaram em pesquisa os resultados encontrados em estudos recentes focalizando as diferenças entre o ruído de tráfego rodoviário e ferroviário, quanto aos distúrbios do sono. Concluiu-se que, embora o nível médio de pressão sonora seja o mesmo, os distúrbios causados pelo tráfego ferroviário são consideravelmente menores que os distúrbios causados pelo tráfego rodoviário.

Um dos mais conhecidos efeitos do ruído sobre o homem é a dificuldade na comunicação porque, para um nível de ruído razoavelmente bem definido, o som da comunicação se mascara. O nível de pressão sonora que interfere na comunicação, ao contrário do que acontece na perturbação e nos distúrbios do sono, não varia significativamente de pessoa para pessoa, nem possui dimensão subjetiva, uma vez que o processo de interferência na comunicação pelo ruído é facilmente compreendido como tópico da física objetiva de mascaramento dos sons desejados, *Ibid.* (45).

Quando a comunicação é prejudicada, isto é, se parte do som fica perdida, ou se um esforço especial tiver de ser feito para superar a interferência, ocorre perturbação ou perda de informação. A perda de informação causada pela interferência do ruído pode ser perigosa nos casos de não se ouvir ou compreender bem os avisos de alerta de aproximação de veículos ou de mal funcionamento de equipamentos. Além disso, pode reduzir a qualidade do ensino e afetar a habilidade de aprendizado das crianças, *MOEHLER et al.* (45).

Já os efeitos do ruído na performance diária podem ser leves e contraditórios. O ruído pode causar distração em uma pessoa envolvida com tarefa específica ou alterar o seu estado de alerta. No entanto, pode aumentar ou diminuir a eficiência, dependendo da altura ou tipo de ruído e do estado psicológico de uma pessoa. Todavia, tarefas envolvendo alta concentração, vigilância, atividade mental e alta complexidade são indubitavelmente afetadas pela introdução do ruído.

#### **4.5.4 Perturbação**

Em adição aos efeitos diretos do ruído no sono, comunicação e performance, existem também os efeitos indiretos da perturbação ou incômodo que são relatados como a forma com que as pessoas sentem o ruído.

A definição da Organização Mundial da Saúde para perturbação é: "o sentimento de desconforto evocado pelo ruído". Esta uma forma bastante simplista de se definir a perturbação do ruído vem provar, lamentavelmente, na prática, que este é o atributo humano mais difícil de quantificar.

Tentativas para medir a perturbação são usualmente feitas sob a forma de um questionário aplicado a uma amostra representativa da população. Essas tentativas servem para relatar a perturbação expressada pelas pessoas entrevistadas, com alguma medição física do ruído causador da perturbação, NELSON (46).

Geralmente para cada pessoa há um risco de perturbação determinado, o qual varia de acordo com o incômodo sentido. A escala de perturbação assim definida deve ser designada, em função do quanto permite testar, pela coerência das respostas concernentes a qualquer ruído, para determinar a variação da ponderação de cada resposta e classificá-las. Certamente o modelo do questionário é de vital importância para que esses objetivos sejam alcançados, NELSON (46).

O uso dessas técnicas revelou que o nível de perturbação individual varia consideravelmente para cada condição de exposição ao ruído e que, na maioria dos casos, a sensação das pessoas ao ruído não está sujeita à intensidade do som ou a qualquer outra descrição física do ruído.

Obviamente, um grande número de fatores pode influenciar as opiniões e as sensações sobre o ruído, e entre esses fatores estão: a personalidade, os hábitos sociais, o estado psicológico ou simplesmente o preconceito.

Por tudo isso não é recomendável generalizar os níveis de perturbação a partir de algumas pesquisas. Entretanto, pode-se dizer que há um número muito reduzido e pouco significativo de pessoas que se dizem incomodadas com ruídos de transporte abaixo de 45 dB(A) Leq. Por outro lado, como o nível de pressão sonora equivalente Leq no interior das residências se situa abaixo dos 60 dB(A), 25% da população se diz altamente incomodada com níveis iguais ou superiores a 65 dB(A), NELSON (46).

Medições de ruído foram feitas em algumas das grandes avenidas e cruzamentos da cidade de São Paulo – Brasil, a fim de avaliar o nível de pressão sonora em decorrência do tráfego de veículos ao qual a população se encontra exposta. Os níveis verificados demonstram que os moradores de São Paulo, provavelmente, estão sendo duramente afetados pelo ruído, PAIVA e BERTOLI (52).

**Tabela 4.2** - Ruído de Tráfego Urbano na Cidade de São Paulo – Brasil

<b>Descrição</b>	<b>Nível de Pressão Sonora Leq [dB(A)]</b>
Pedestre no cruzamento da Marginal Tietê e Av. Cruzeiro do Sul.	80 – 98
Pedestre na Av. Cruzeiro do Sul.	80 – 102
Pedestre no cruzamento das Avenidas Ipiranga e São João	75 – 82
Pedestre no cruzamento das Avenidas Ipiranga e São Luís	80 – 90
Pedestre na Marginal Pinheiros, próximo à Estação Pinheiros de Trens.	80 - 90

**Fonte:** O Transporte e a sua Poluição Sonora, 1996, PAIVA e BERTOLI (52).

## **5. ESTUDO DA EXPOSIÇÃO DO PASSAGEIRO EMBARCADO AO RUÍDO**

### **5.1 Passageiro Aeroviário**

Durante os últimos 50 anos, tem havido um aumento na compreensão dos mecanismos envolvidos no problema do ruído no interior das aeronaves e do caminho da transmissão do ruído das fontes para o interior da cabine. Progressos têm sido alcançados na redução do nível de ruído interno, especialmente para as hélices direcionadas do avião, com métodos tradicionais de controle passivo de ruído, suplementados pelos recentes avanços nos métodos de controle ativo do ruído, WILBY (64).

Os avanços tecnológicos nem sempre se traduziram em uma grande redução dos níveis internos de pressão sonora, porém eles foram importantes para interromper a escala no aumento da potência acústica gerada pelas fontes.

Uma comparação feita entre o nível de pressão sonora produzido por aviões a hélice da década de 50 e aquele produzido por aviões a jato comerciais mostrou que os jatos atuais produzem um nível de pressão sonora cerca de 20 dB menor que os antigos aviões,

em baixas frequências. Para altas frequências o nível de pressão sonora é similar entre aviões a hélice e a jato. Entretanto, neste último caso os níveis gerados pela fonte são muito altos, devido às altas velocidades de vôo, WILBY (64).

**Tabela 5.1** - Ruído no Interior da Cabine de Aeronaves

<b>Frequência [Hz] (Banda Central 1/3 de oitava)</b>	<b>SPL [dB] Avião com Motor a Hélice</b>	<b>SPL [dB] Avião com Motor a Jato</b>	<b>SPL [dB] Avião com Motor a Jato (*)</b>
50	80	63	74
80	82	80	77
1(24)	91	72	90
200	85	75	82
315	83	69	85
500	82	70	80
800	81	69	79
1(24)0	80	68	72
2000	78	65	70
3150	70	58	62
5000	62	52	50

**Fonte:** *Aircraft Interior Noise*, 1996, WILBY (64).

(\*) - Nível de pressão sonora no interior da aeronave, contendo a contribuição do ruído produzido pela estrutura.

Segundo GARAKIS et al. (16), os aviões têm motores muito potentes e deslocam-se com grandes velocidades, o que resulta na principal razão para justificar sua alta produção de ruído. Esse ruído afeta as pessoas no solo, especialmente nas cercanias dos aeroportos, e também os passageiros e a tripulação no interior da cabine.

O ruído externo é regulado por legislações, segundo padrões internacionais e garantidos por autoridades certificadoras. Já o ruído interno deve, no mínimo, estar submetido aos critérios de dosagem (nível de pressão sonora equivalente X tempo de exposição), com fortes implicações no conforto e no sucesso comercial da aeronave.

Reduzir o ruído externo requer, entre outras medidas, melhorar a aerodinâmica do veículo, projetar o corpo da aeronave para melhor integração dos motores e definir manobras otimizadas de pouso e decolagem, GARAKIS et al. (16).

Reduzir o ruído interno requer atuar tanto sobre as fontes aerodinâmicas como sobre as fontes estruturais. São consideradas fontes aerodinâmicas: a turbulência do ar em torno da fuselagem, a turbulência oriunda dos motores e hélices e o campo de pressões oscilantes nas superfícies das aeronaves. As fontes estruturais são: as vibrações dos motores, dos eixos de transmissão do revestimento, dos painéis e de outras estruturas excitadas pela aerodinâmica não estacionária.

A Empresa Brasileira de Aeronáutica - EMBRAER, segundo a tendência mundial, tem reduzido o ruído no interior da cabine de suas aeronaves a cada novo projeto, com o passar dos anos.

**Tabela 5.2** - Ruído Médio no Interior da Cabine de Aeronaves, em Velocidade de Cruzeiro.

<b>Tipo de Aeronave Comercial - EMBRAER [Ano de Operação]</b>	<b>Nível de Pressão Sonora no Interior da Cabine Leq [dB(A)]</b>	<b>Redução no Nível de Pressão Sonora Leq [dB(A)]</b>
Bandeirante 1972	105	-
Xingu 1976	95	10
Brasília 1983	88	7
Vector 1990	82	6
BEM 145 1995	78	4

**Fonte:** GARAKIS et al. (16).

Um conjunto de medidas foi adotado para a redução do ruído interno de cada aeronave, em consonância com a evolução tecnológica associada à necessidade de se melhorar o conforto acústico para passageiros e tripulantes.

No Bandeirante as fontes de ruído foram combatidas com o tratamento do ruído no sistema de ar condicionado, a modificação da passagem da esteira das hélices pelas

superfícies da cauda, a utilização de absorvedores dinâmicos nas cavernas da fuselagem e com a sincronização da velocidade de rotação das hélices, GARAKIS et al. (16).

No Xingu as principais providências para redução do ruído foram a instalação do plano da hélice fora da cabine de passageiros, o aumento do número de pás das hélices, a pressurização da fuselagem, a evolução do acabamento interno com revestimentos e a sincronização das hélices, *ibid.* (16).

No Brasília as medidas para o abatimento do ruído interno foram: instalação das hélices distanciadas da fuselagem, melhorias no sistema de pressurização e no projeto do interior da fuselagem, adoção de hélices do tipo cimitarra, melhorias no balanceamento e sincronismo das hélices e otimização estrutural da fuselagem, *ibid.* (16).

No Vector as evoluções se deram através do posicionamento do plano das hélices na parte posterior da fuselagem, da adoção de hélices contra-rotativas, do tipo "*pusher*", do aumento significativo do número de pás das hélices, de melhorias no interior da fuselagem e do uso de novos materiais estruturais, *ibid.* (16).

Finalmente, o EMB 145 contou com melhorias no projeto e otimização estrutural, modelado em computador, uso de apoios fluido-elásticos para as ligações entre os motores e a fuselagem, uso de absorvedores visco-elásticos nos painéis da fuselagem, otimização do sincronismo entre motores, através de controles digitais, uso de silenciadores para as linhas do sistema hidráulico e tratamento acústico da unidade auxiliar de potência, incluindo instalação de abafadores nas entradas de ar, e nas saídas, descarga de gases, *ibid.* (16).

## 5.2 Passageiro Rodoviário

No Brasil, a diminuição do ruído gerado pelos veículos rodoviários vem se intensificando nos últimos anos devido à entrada de carros importados no país, que promove contínua melhoria na qualidade dos carros nacionais, para torná-los competitivos. Além disso, as resoluções do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, decretadas em fevereiro de 1993, exigem a redução da emissão de ruído externo para níveis máximos de 77 a 84 dB(A), dependendo do tipo de veículo, GERGES e MÉLO (20).

A qualidade acústica no interior de uma cabine veicular é de fundamental importância, uma vez que significa conforto aos passageiros. O ruído presente numa cabine veicular é gerado por diversas fontes, tais como o motor, o sistema de exaustão (descarga), a caixa de engrenagens, o sistema de transmissão, os componentes internos (painéis), a carroceria, portas, o atrito dos pneus com o pavimento e a resistência aerodinâmica. Esse ruído pode ser atenuado com a alteração geométrica da forma da cabine e com o revestimento de seu interior com material absorvente.

Segundo NUNES e PAVANELLO (47), o estudo dos modos acústicos do compartimento de passageiros é uma ferramenta útil no desenvolvimento de melhorias do conforto do veículo, principalmente no que se refere à otimização do posicionamento e especificação de material para absorção acústica no interior do veículo e ao desacoplamento das ressonâncias de painéis e estruturas com os modos acústicos do compartimento.

Em faixas de baixa frequência, abaixo de 200 Hz, o ruído no interior do carro é determinado por um sistema modal característico, como ressonâncias acústicas, vibrações típicas do corpo e das ligações estruturais do veículo, bem como ruído e vibração das fontes propriamente ditas. Para frequências mais altas, os ruídos do motor, dos pneus e do ar contra o veículo passam a contribuir de forma significativa para o ruído no interior do veículo. Quanto mais potente o motor de um carro, mais ruidoso ele será, *Ibid* (47).

Quando o motor não está projetado para baixos níveis de ruído e vibração, graves problemas de ruído podem ocorrer, já que dificilmente a estrutura do corpo do veículo, planejada pelo fabricante, poderá ser alterada, a fim de mitigar os ruídos *a posteriori*. Para evitar esse problema é necessário detalhar a análise do compartimento do veículo durante a fase de projeto, bem como realizar tantos testes quanto forem necessários no protótipo, KIM et al. (36).

**Tabela 5.3** - Ruído Estrutural Médio no Interior de Carros de Passageiros

Frequência [Hz]	Nível de Pressão Sonora [dB(A)]
20	0
50	65
100	75
150	78
200	90
(24)0	80

**Fonte:** *Structural-Acoustic Modal Coupling Analysis and Application to Noise Reduction in a Vehicle Passenger Compartment*, 1999, KIM et al. (36).

**Tabela 5.4** - Ruído Médio do Motor no Interior de Carros de Passageiros

Rotações do Motor [rpm x 1000]	Nível de Pressão Sonora [dB(A)]
1,5	68
2,0	68
3,0	65
4,0	70
5,0	75

**Fonte:** *Structural-Acoustic Modal Coupling Analysis and Application to Noise Reduction in a Vehicle Passenger Compartment*, 1999, KIM et al. (36).

Na tabela 5.4 não foi computada a parcela do ruído do escapamento, dos pneus e do ruído aerodinâmico; foi medida somente uma fonte isolada - Motor.

Há bastante tempo o ruído de tráfego vem sendo considerado uma das principais razões da poluição sonora, e entre os maiores responsáveis estão os caminhões, os ônibus e os carros de passeio. No Brasil, os efeitos dessa situação são desastrosos quando somados à não renovação da frota de ônibus e caminhões e ao tempo de permanência no trânsito de grandes cidades, como São Paulo.

De acordo com MARQUES e RUSSO (43), o transporte coletivo em São Paulo constitui um grave problema na organização urbana da cidade. Diariamente são transportados cerca de sete milhões de passageiros em mais de 11.400 ônibus, que percorrem 2,2 milhões de quilômetros pelas ruas da cidade.

Motoristas, cobradores e passageiros estão expostos, diariamente e por longos períodos, ao ruído urbano, que compreende o ruído das ruas, das buzinas, além do ruído do motor do ônibus e dos passageiros no seu interior, sem contar as vibrações e o ruído decorrentes destes.

Na pesquisa elaborada por MARQUES e RUSSO (43), com motoristas de ônibus da cidade de São Paulo - Brasil, ficou claro que o ruído que mais incomoda dentro do ônibus é o do motor, e que aproximadamente 55% dos pesquisados apresentaram perda auditiva induzida pelo ruído, além de irritação e nervosismo.

Outra pesquisa feita por CARVALHO (9) em alguns ônibus da cidade de Belo Horizonte - Brasil, avaliou os níveis de pressão sonora no interior dos veículos e apresentou algumas sugestões para minimizar o problema.

Na tabela 5.5, encontram-se discriminadas as faixas de variação do nível médio de pressão sonora no interior dos veículos, conforme as marchas em utilização. Foram compiladas informações relativas às medições em 3 linhas e 5 carros diferentes.

**Tabela 5.5** - Ruído Médio no Interior de Ônibus Urbanos da Cidade de Belo Horizonte - Brasil

<b>Marchas dos Ônibus</b>	<b>Nível de Ruído no Interior dos Ônibus [dB(A)] Motor Dianteiro</b>	<b>Nível de Ruído no Interior dos Ônibus [dB(A)] Motor Traseiro</b>
<b>Marcha Lenta</b>	70 a 78	65 a 70
<b>1ª e 2ª Marchas</b>	80 a 97	75 a 80
<b>3ª Marcha</b>	85 a 97	80 a 85

**Fonte:** CARVALHO (9).

### 5.3 Passageiro Ferroviário

PAIVA e BERTOLI (53) fizeram um levantamento inicial do ruído nos sistemas de trens metropolitanos da cidade de São Paulo – Brasil e compararam-no aos valores encontrados para os sistemas de trens metropolitanos americanos e europeus, concluindo que, quanto pior a condição da via permanente, maior o ruído produzido. Nesse estudo foram admitidos os seguintes valores de conforto acústico:

**Tabela 5.6** – Níveis de Conforto Acústico para o Ouvido Humano

<b>Níveis de Pressão Sonora Leq [dB(A)]</b>	<b>Níveis de Conforto</b>		
	<b>Confortável</b>	<b>Desconfortável</b>	<b>Inaceitável</b>
	< 65	75 - 85	85 >

**Fonte:** PAIVA e BERTOLI (53).

Os valores obtidos nas medições estão compilados na tabela 5.7, bem como os valores de referência para ruído interno e externo de trens de metrô e locomotivas.

**Tabela 5.7** – Níveis de Ruído Medidos na Cidade de São Paulo e Valores de Referência Internacionais

DESCRIÇÃO	Níveis de Pressão Sonora Medidos [dB(A)]	Níveis de Pressão Sonora de Referência [dB(A)]
Usuário do Metrô na Plataforma da Estação Armênia	78 – 84	87 - 100
Usuário do Metrô na Plataforma da Estação Santana	73 – 92	87 - 100
Usuário do Metrô na Plataforma da Estação Sé	78 – 102	87 – 100
Usuário do Metrô da Plataforma da Estação Bresser	79 – 88	87 - 100
Usuário do Metrô em Trânsito no Trecho Armênia – Tietê	80 – 92	80 - 98
Usuário do Metrô em Trânsito	80 - 94	80 – 98
Usuário da CPTM em Trânsito no Trecho Tatuapé – Calmon Viana – Linha F	79 – 88	80 – 98
Usuário da CPTM em Trânsito no Trecho Calmon Viana – Roosevelt - Linha F	86 - 110	80 – 98
Usuário da CPTM em Trânsito na Linha A	78 - 94	80 - 98
Usuário da CPTM em Trânsito na Linha B	78 – 92	80 – 98
Usuário da CPTM em Trânsito na Linha C	78 - 96	80 – 98
Morador a 100 m da via férrea	82 - 90	80 – 98

**Fonte:** PAIVA e BERTOLI (53).

Em continuidade aos trabalhos anteriores, PAIVA et al. (54) fizeram a medição dos níveis de pressão sonora, máximo, mínimo e equivalente – L<sub>max.</sub>, L<sub>min.</sub> e L<sub>eq</sub> – para as Linhas 1, 2 e 3 do Metrô de São Paulo.

Das medições executadas, conclui-se que o nível de ruído do último carro da composição (6º carro) é, em média, 5 dB(A) maior que nos demais, especialmente se comparado ao primeiro carro. Os trechos em túnel apresentaram níveis de ruído superiores aos trechos em superfície, podendo chegar até 10 dB(A) de diferença entre um e outro, e o nível de ruído varia conforme o lugar no interior do carro. PAIVA et al. (54). Verificou-se também que o sinal de abertura e fechamento de portas pode chegar a 89 dB(A), dependendo do carro. Entretanto, segundo a NBR – 13067 (1), esse sinal não deve ser considerado, devido ao curtíssimo tempo de exposição. Nos trechos entre estações mais longos e nos horários de vale, como a velocidade dos trens é maior, os níveis de ruído apresentaram, conseqüentemente, um acréscimo de 6 a 7 dB(A), confirmando a relação direta entre o nível de pressão sonora no interior dos carros e a velocidade de operação.

Os usuários das Linhas 1 e 3 estão exposto a um nível de pressão sonora médio de 87 dB(A) por oito horas, se fizerem a viagem de ponta a ponta das linhas, enquanto que os usuários da Linha 2 estão expostos a um nível de pressão sonora médio de 89 dB(A) em condições iguais, ou seja, acima do máximo admissível na legislação nacional, que é de 85 dB(A) para um período de oito horas, *ibid.* (54).

**Tabela 5.8** – Linha 2, Ana Rosa – Clínicas do Metrô de São Paulo

TRECHO	Nível de Pressão Sonora Equivalente.		Níveis de Pressão Sonora Máximo e Mínimo [dB(A)]			
	Leq [dB(A)]		1º Carro		6º Carro	
	1º Carro	6º Carro	Lmax	Lmin	Lmax	Lmin
Ana Rosa - Paraíso	87	-	88,7	70,8	105,7	71,0
Paraíso – Brigadeiro	83	90	91,0	67,3	105,7	71,0
Brigadeiro – Trianon Masp	86	92	91,0	66,2	105,7	71,4
Trianon – Consolação	86	95	91,6	66,2	105,7	71,4
Consolação - Clínicas	92	97	94,4	66,2	94,2	72,3

**Fonte:** PAIVA et al. (54).

**Tabela 5.9** – Linha 1, Norte – Sul do Metrô de São Paulo.

TRECHO	Nível de Pressão Sonora Equivalente.		Níveis de Pressão Sonora Máximo e Mínimo [dB(A)]			
	Leq [dB(A)]		1° Carro		6° Carro	
	1° Carro	6° Carro	Lmax	Lmin	Lmax	Lmin
Santana – Carandiru	78	80	89,5	65,7	103,0	65,9
Carandiru – Tietê	73	78	85,0	65,8	103,0	65,9
Tietê – Armênia	78	84	84,6	65,5	103,0	65,9
Armênia – Tiradentes	81	84	84,8	66,2	103,0	65,9
Tiradentes – Luz	78	84	91,0	64,5	103,0	65,9
Luz – São Bento	86	88	90,7	64,6	103,0	65,9
São Bento – Sé	89	86	90,5	65,9	103,0	65,9
Sé – Liberdade	85	82	87,7	63,4	103,0	66,1
Liberdade – São Joaquim	89	86	80,2	64,6	103,0	66,2
São Joaquim – Vergueiro	84	84	85,5	62,6	103,0	66,2
Vergueiro – Paraíso	84	84	84,0	62,7	103,0	66,4
Paraíso – Ana Rosa	87	81	86,6	64,1	103,0	67,1
Ana Rosa – V. Mariana	90	87	91,8	63,5	103,0	67,1
V. Mariana – Santa Cruz	85	89	88,2	63,7	103,0	67,6
Santa Cruz – Pça da Árvore	90	92	92,6	64,3	103,0	67,6
Pça da Árvore – Saúde	91	88	94,2	64,6	103,0	67,6
Saúde – São Judas	84	81	90,2	65,3	103,0	67,9
São Judas – Conceição	89	88	99,3	67,7	103,0	68,2
Conceição – Jabaquara	89	94	92,0	67,0	103,0	69,4

**Fonte:** PAIVA et al. (54).

**Tabela 5.10** – Linha 3, Leste - Oeste do Metrô de São Paulo

TRECHO	Nível de Pressão Sonora Equivalente.		Níveis de Pressão Sonora Máximo e Mínimo [dB(A)]			
	Leq [dB(A)]		1º Carro		6º Carro	
	1º Carro	6º Carro	Lmax	Lmin	Lmax	Lmin
Barra Funda – Mal. Deodoro	93	96	103,3	69,8	118,4	82,6
Mal. Deodoro – Sta Cecília	88	93	103,3	69,8	118,4	82,4
Sta Cecília – República	74	92	103,3	69,8	118,4	82,4
República – Anhangabaú	72	87	103,3	69,8	118,4	82,4
Anhangabaú – Sé	70	85	103,3	69,8	118,4	82,4
Sé – Pedro II	70	82	103,3	69,8	118,4	81,3
Pedro II – Brás	70	83	103,3	69,8	118,4	81,3
Brás – Bresser	68	84	103,3	69,8	120,2	79,8
Bresser – Belém	89	88	103,3	69,8	120,2	79,8
Belém – Tatuapé	81	81	93,5	69,8	120,2	79,8
Tatuapé - Carrão	82	78	93,5	69,8	120,2	79,8
Carrão – Penha	84	80	93,5	69,8	120,2	79,8
Penha – Vila Matilde	85	79	93,5	70,6	120,2	79,8
Vila Matilde – Guilhermina	84	79	93,5	70,6	120,2	79,8
Guilhermina – Patriarca	85	81	92,0	70,6	120,2	79,8
Patriarca – Artur Alvim	82	81	92,0	70,6	120,2	79,6
Artur Alvim - Itaquera	83	80	92,0	70,6	120,2	79,6

**Fonte:** Ruído em Sistemas de Transportes: Parte I – Metrô, 1997, PAIVA et al. (54).

Dando seqüência aos levantamentos anteriores e aprofundando os estudos, em 1999, PAIVA e BERTOLI (51) analisaram os níveis de pressão sonora em todos os carros de um trem da Linha 2 do Metrô de São Paulo, no trecho Ana Rosa – Clínicas, concluindo o que se segue:

- das três linhas de metrô estudadas, a mais ruidosa foi a Linha 2, Ana Rosa – Clínicas, sendo que o trecho mais crítico foi registrado entre as estações Trianon e Consolação;

- dos seis carros da composição, verificou-se que os carros intermediários apresentaram níveis de ruído superiores aos carros das pontas, e que os passageiros estão expostos a níveis de ruído equivalentes que causam desconforto (vide tabela 5.7), com probabilidade de ocorrer perda auditiva, dependendo do tempo de exposição e da frequência com que utilizam esse meio de transporte;
- a Linha 3, Leste–Oeste, é menos ruidosa que a Linha 1, Norte–Sul, provavelmente porque esta última possui mais trechos confinados, em túnel, que a anterior, levando-se em conta a verificação anterior de que trechos confinados produzem maior nível de pressão sonora no interior dos carros, se comparados a trechos a céu aberto;
- as medidas para mitigar tal problema são o controle do ruído com o tratamento de uma das fontes, do contato roda/trilho e o tratamento acústico das superfícies dos túneis.

Os resultados dos níveis sonoros observados nesse estudo estão indicados na tabela 5.11.

**Tabela 5.11** – Variação dos Níveis de Pressão Sonora nas Linhas do Metrô de São Paulo

<b>LINHAS</b>	<b>Leq [dB(A)]</b>	<b>Lmax [dB(A)]</b>	<b>Lpico [dB(A)]</b>
<b>Linha 1, Norte - Sul</b>	78 – 92	88 – 99	98 – 120
<b>Linha 2, Ana Rosa - Clínicas</b>	78 – 98	81 – 103	103 – 117
<b>Linha 3, Leste - Oeste</b>	88 - 96	96 – 109	106 – 126

**Fonte:** Estudo da Exposição ao Ruído dos Usuários Embarcados no Metrô de São Paulo, 1999, PAIVA e BERTOLI (51).

HARDY (24), em seu estudo, mediu o nível de pressão sonora no interior de 4 tipos de trens ingleses de média velocidade, isto é, circulando entre 100 km/h a 200 km/h,

utilizando as escalas de ponderação (vide capítulo 3) A, B, C e D. O objetivo do trabalho foi verificar se os critérios ingleses existentes para medição e avaliação do ruído no interior de carros de passageiros são adequados para representar a situação com realidade.

Entre as conclusões do trabalho, é importante destacar que a forma como as medidas são tomadas tem influência sobre o resultado, isto é, se as medidas são feitas em vários pontos do carro, se são feitas do mesmo lado em todos os carros, etc. A tabela 5.12 mostra a diferença na variância das medidas feitas no final de uma mesma composição.

**Tabela 5.12** – Média, Variância e Número de Amostras do Nível de Pressão Sonora em dB(A), feitas no interior da Composição MK 4, a 200 km/h.

<b>Posição da Medição no Interior do Carro/Nº de Carros/Lado</b>	<b>Média [dB(A)]</b>	<b>Variância [dB(A)<sup>2</sup>]</b>	<b>Número de Amostras</b>
Centro, 3 carros, um lado	67,3	3,9	6
Final, 7 carros, um lado	72,0	11,7	12
Final, 1 carro, vários pontos	73,6	6,3	201

**Fonte:** *Measurement and Assessment of Noise within Passenger Trains*, 2000, HARDY (24).

A diferença na variância das medidas mostrou que, quando as medidas são tomadas em ambos os lados do carro, as condições da via permanente (trilhos) ficam mais evidenciadas. Para se obter resultados constantes e significativos é necessário fazer as medições das viagens (jornadas) típicas, indicando um tempo de viagem adequado de cerca de 4 horas. Porém, com os novos aparelhos automáticos de medição e coleta de dados, podem ser consideradas viagens de curta duração, sem que isso implique problemas no resultado da pesquisa, HARDY (24).

O MK 4 é um trem inglês climatizado (dotado de ar condicionado), tracionado por locomotiva, e não possui carro motor. As mesmas medições num trem unidade diesel, dotado de ar condicionado, tipo “Classe 158”, mostraram que os carros centrais da

composição são mais ruidosos que os extremos, em consequência do ruído dos motores, HARDY (24).

Para compreender melhor a percepção do seu passageiro ferroviário, a ferrovia francesa SNCF - *Société Nationale des Chemins de Fer Français* realizou uma pesquisa sobre o conforto acústico nos carros do TGV - trem de alta velocidade para determinar os parâmetros mais importantes envolvidos na perturbação acústica e a curva de ponderação mais apropriada, uma vez que a curva de ponderação A e o nível de pressão sonora não refletem todos os aspectos do incômodo causado pelo ruído aos passageiros, LÉTOURNEAUX et al. (42). O trabalho procurou caracterizar as fontes de ruído de baixa frequência e desenvolver um indicador de conforto acústico, através do qual é possível avaliar melhor a perturbação causada pelo ruído no interior dos trens. O desenvolvimento de um indicador de conforto acústico requer um modelo representativo da percepção do passageiro. É necessário o trabalho conjunto de cientistas acústicos e sociais para desenvolver um método que correlacione a perturbação do passageiro e os parâmetros físicos do ruído.

Segundo HECKL e MÜLLER (25), uma parte do ruído gerado pela circulação do veículo atinge o assoalho e a parte inferior das paredes laterais do carro. Nos trechos em túnel também atinge as janelas, as paredes e o teto, fazendo com que essas partes vibrem, gerando o ruído que é transmitido para o interior do carro, e uma parte adicional de energia acústica caminha como ruído estrutural da roda através do truque (suspensão) para as demais partes do veículo.

Durante a última década, foram obtidas diversas melhorias na diminuição do nível de ruído interno e externo com a introdução de freios a disco nos carros de passageiros. As ferrovias européias criaram uma norma internacional para trens de média velocidade, 160 km/h, que estabelece limites de ruído interno de 65 dB(A), para carros de primeira classe, e de 68 dB(A), para carros de segunda classe, sendo que esses valores também são adotados para trens de alta velocidade, acima de 200 km/h, HECKL e MÜLLER (25).

A tabela 5.13 indica o nível de pressão sonora no interior de um trem alemão de média a alta velocidade, ICE, numa via em lastro.

**Tabela 5.13** – Nível de Pressão Sonora no interior do ICE em dB(A).

<b>Ponto de Medição - Região do Carro</b>	<b>Nível de Pressão Sonora para Velocidade de 200 km/h [dB(A)]</b>	<b>Nível de Pressão Sonora para Velocidade de 280 km/h [dB(A)]</b>
Sobre o Truque	66	70
No Meio do Carro	62	66

**Fonte:** *Taschenbuch der Technischen Akustic*, 1995, HECKL e MÜLLER (25).

A tabela 5.14 mostra os níveis de ruído e vibração internos de um carro de passageiros (meio do carro), durante sua circulação em diversos tipos de superestrutura, em superfície e em túnel.

**Tabela 5.14** – Nível de Pressão Sonora em dB(A) e Nível de Vibração em dB(V).

<b>Trecho</b>	<b>Tipo de Superestrutura</b>	<b>Nível de Vibração [dB(V)]</b>	<b>Nível de Ruído [dB(A)]</b>
Superfície	Lastro	90	64
Túnel	Lastro	96	71
Túnel	Via Rígida sem absorção	97	81
Túnel	Via Rígida com absorção	96	75

**Fonte:** *Taschenbuch der Technischen Akustic*, 1995, HECKL e MÜLLER (25).

Para a tripulação na cabina de comando em um trem trafegando com sua capacidade de carga e velocidade máximas, o limite do nível de ruído equivalente  $Leq$ , para oito horas de trabalho, não deve ultrapassar os 80 dB(A), se o trecho for em túnel, e 75 dB(A), se for em superfície, HECKL e MÜLLER (25).

Com base nesses valores, foi realizado o tratamento acústico no compartimento de máquinas dos trens diesel, cujos níveis de ruído atingem 120 dB(A). O isolamento acústico reforçado entre o compartimento de máquinas e a cabina de comando resultou num  $L_{eq}$  muitas vezes abaixo dos 70 dB(A) para oito horas de exposição, *ibid.* (25).

A tabela 5.15 mostra os níveis admissíveis para o ruído no interior da cabina de um trem trafegando com carga e velocidade máximas, ao ar livre.

**Tabela 5.15** – Nível de Pressão Sonora Equivalente  $L_{eq}$  dB(A) na cabina de comando.

<b>Tipo de Trem</b>	<b><math>L_{eq}</math> para Trecho em Superfície [dB(A)]</b>	<b><math>L_{eq}</math> para Trecho em Túnel [dB(A)]</b>
Locomotivas Diesel	75	80
Trens Unidade Diesel	65	70
Locomotivas Elétricas	70	75

**Fonte:** *Taschenbuch der Technischen Akustik*, 1995, HECKL e MÜLLER (25).

Na tabela 5.16 é mostrada a distribuição do nível de ruído na camada externa e no interior de um carro com freio a disco, circulando por via lastreada, a 250 km/h, em superfície e em túnel, *ibid.* (25).

**Tabela 5.16** – Nível de Pressão Sonora Equivalente Leq dB(A) Interno e Externo.

Trecho	Ponto de Medição	Nível de Pressão Sonora Equivalente Leq Interno [dB(A)]	Nível de Pressão Sonora Equivalente Leq Externo [dB(A)]
	No Alinhamento do Truque		
Superfície / Túnel	Teto do Carro - Região Central	-	96 / 112
	Teto do Carro - Região Lateral	-	99 / 113
	Meio do Carro	69 / 76	
	Piso do Carro - Região Lateral	-	109 / 115
	Sobre o Truque	-	120 / 120
	<b>No Alinhamento da Linha Média entre os Truques</b>		
	Teto do Carro - Região Central	-	90 / 115
	Teto do Carro - Região Lateral	-	90 / 115
	Meio do Carro	64 / 74	

**Fonte:** *Taschenbuch der Technischen Akustic*, 1995, HECKL e MÜLLER (25).

## **6. O EXPERIMENTO – MEDIÇÃO DO RUÍDO NO INTERIOR DOS TRENS METROPOLITANOS**

### **6.1 Condições Gerais**

Com base em trabalhos anteriores já citados, definiu-se como problema potencial o ruído excessivo no interior dos trens metropolitanos, da cidade de São Paulo, durante o seu deslocamento entre estações, isto é, quando o nível de pressão sonora equivalente medido ( $L_{eq}$ ) supera 80 dB(A), para um período de oito horas de exposição.

Esta situação ocasiona alto nível de desconforto e estresse, podendo acarretar, até mesmo, perdas auditivas nos usuários dos sistemas metro-ferroviários, o que vem determinar a necessidade de se dar continuidade aos estudos preliminares, com aprofundamento das investigações.

Neste estudo, os parâmetros discutidos são: o nível de ruído no interior dos trens e as velocidades médias nos deslocamentos, associados ao tipo de trem, posição do carro na formação do trem e o tipo de trecho e de via permanente.

O experimento consistiu em realizar medidas do Nível de Pressão Sonora dentro de algumas composições da Cia. do Metropolitano de São Paulo - METRÔ e da Cia. Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM, durante a corrida dos trens em operação comercial, com os passageiros embarcados.

Visando avaliar o problema dentro das condições reais, o experimento, fundamentalmente empírico, foi realizado com o trem em operação comercial, velocidade variável, passageiros embarcados e paradas normais nas estações.

Na seqüência, coube avaliar os resultados e verificar os pontos de maior nível de pressão sonora, dentro de cada trecho, verificar se havia correlação com o tipo da superestrutura de via permanente e por quê. Também foi avaliado que carros da composição são mais ruidosos, tentando investigar se a causa reside no tipo do carro (motor, reboque) ou na posição do mesmo dentro da formação do trem.

Finalmente, foi possível avaliar o grau de exposição dos passageiros, enumerando os fatores identificados que influenciam a propagação do ruído, sob o aspecto da via permanente.

## **6.2 Metodologia**

### **6.2.1 Levantamento das Linhas**

As linhas alvo da pesquisa foram as dos sistemas ferroviários de transporte urbano de passageiros que atendem à Região Metropolitana de São Paulo, Cia do Metropolitano de São Paulo - METRÔ e Cia Paulista de Trens Metropolitanos - CPTM.

Além dos pontos de origem e destino de cada linha, foi necessário obter as suas características físicas, operacionais e construtivas, a fim de se estabelecer o plano de medições.

Foram consideradas como características físicas as informações pertinentes à extensão total e parcial (entre estações) da linha, quantidade de estações, nome e seqüência de distribuição dessas estações.

As características operacionais avaliadas dizem respeito à direção do fluxo ferroviário nas duas ou mais linhas existentes no trecho estudado, ao intervalo entre os trens ("*had-way*"), à velocidade de operação no trecho - se está sendo operado com velocidade normal ou reduzida (cautela) -, à identificação dos horários de pico - de maior movimento e demanda - e de vale e dos horários em que os trens trafegam mais vazios, em cada trecho da linha.

As características construtivas indicam que tipos de estrutura foram utilizados na infra-estrutura e na superestrutura das vias permanentes, tais como: se o trecho é em túnel, céu aberto, elevado ou superfície; se existe algum tipo de amortecimento do tipo massa-mola; se a via é assentada sobre lastro e dormentes ou sobre lajes e vigas de concreto; se os dormentes são de concreto ou de madeira; e, finalmente, se a fixação dos trilhos é elástica ou não.

As Linhas alvo deste estudo são:

Metrô de São Paulo:

- **Linha 1 – Azul**, de Jabaquara até Tucuruvi;
- **Linha 2 – Verde**, de Ana Rosa até Vila Madalena;

CPTM:

- **Linha C** – de Osasco até Jurubatuba;

A extensão de todas as linhas da CPTM é de 270 km, contra 49 km das linhas do Metrô, sem considerar a Linha 5 - Lilás, em fase inicial de operação e testes com 9,4 km (início da operação parcial em outubro/2002).

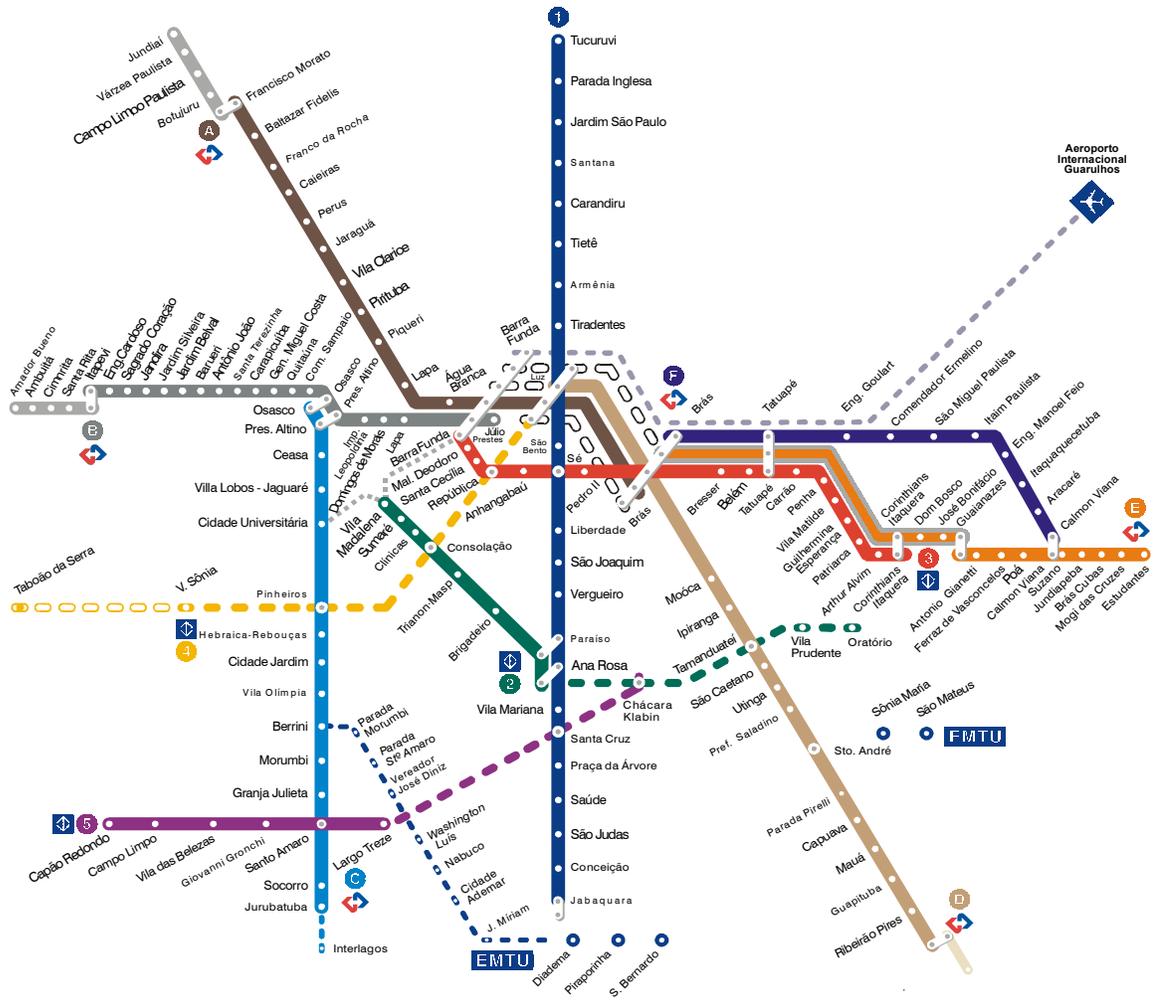
Devido às características da região metropolitana, na rede da CPTM o intervalo entre trens varia de 8 a 20 minutos, conforme a linha e o horário de pico ou de vale, pois os trechos entre estações são longos, entre 2 e 6 km, demandando longo período de tempo para completar um trajeto. Isto implicou a escolha de apenas uma das linhas, a Linha C, com extensão compatível com a Linha Azul do Metrô, para a realização do experimento.

Outro fator preponderante na escolha da Linha C, além de sua pequena extensão, é o fato de ela ter sido recentemente modernizada (2001), com a troca de toda a superestrutura da via permanente: trilhos, dormentes e fixações, e o fato de que nela os trens são climatizados, dotados de ar condicionado, fornecendo um bom aspecto para a comparação com os trens do Metrô, tanto nas diferenças de tipo de via como de tipo de trem.

As demais linhas da CPTM, além de muito extensas, estão sendo afetadas pelas obras do projeto chamado "Integração Centro", que possibilitará a interpenetração de quatro das seis linhas entre as Estações Barra Funda e Brás, ocasionando reduções de velocidade e mudanças na operação comercial, o que acabaria por inviabilizar a coleta de dados satisfatórios e significativos.

Quanto ao Metrô, inicialmente pretendia-se fazer as medições nas três linhas em operação plena, porém foi dada prioridade às linhas que haviam apresentado os maiores níveis de ruído em estudos anteriores, citados no capítulo 5, a saber: a Linha 1 - Azul e a Linha 2 - Verde.

A figura 6.2.1, fornecida pela CPTM - Gerência de Projetos de Engenharia de Infra-estrutura, mostra o mapa dos sistemas de transporte da Região Metropolitana de São Paulo.



**Legenda**

- CPTM**
- Linha A
  - Linha B
  - Linha C
  - Linha C (em projeto)
  - Linha D
  - Linha E
  - Linha E - Expresso Leste
  - Linha F
  - Integração Centro (em obras)
  - Extensão Operacional
  - Extensão Operacional Turística
  - Expresso Aeroporto (em projeto)
- Informações 0800-550 121

- EMTU**
- Corredor de ônibus
  - Corredor de ônibus (em obras)
- Informações 0800-190 088

- METRÔ**
- Linha 1-Azul
  - Linha 2-Verde
  - Linha 2-Verde (em projeto)
  - Linha 3-Vermelha
  - Linha 4-Amarela (em projeto-fase 1)
  - Linha 4-Amarela (em projeto-fase 2)
  - Linha 5-Lilás (operação-2º semestre/2002)
  - Linha 5-Lilás (em projeto)
- Informações 3286-0111

- Ponte ORCA
- Estação de Integração



**Figura 6.2.1 - Mapa das Linhas dos Transportes Metropolitanos de São Paulo**

Fonte: CPTM (11)

As características das linhas estudadas estão resumidas na tabela 6.2.1.

**Tabela 6.2.1 - Características Construtivas das Linhas**

<b>Linha</b>	<b>Extensão</b>	<b>Característica</b>
<b>1 – Azul, Metrô</b>	20,53 km	Trechos em túnel e elevado Fixação direta em lajes de concreto
<b>2 - Verde, Metrô</b>	8,14 km	Trechos em túnel, com 1 estação em elevado Fixação direta em lajes de concreto, com e sem massa-mola
<b>C – CPTM</b>	24,27 km	Trecho a céu aberto Fixação sobre dormentes de madeira (6,27km) e de concreto (18km) e lastro de pedra britada.

## 6.2.2 Caracterização do Material Rodante

Através de estudos já publicados, verificou-se que o tipo do material rodante e suas características influenciam na geração de ruído. Conseqüentemente, foi necessário caracterizar os trens que circulam em cada um dos trechos das respectivas linhas e fazer as medições para cada um deles.

Para as linhas de Metrô, existem atualmente três tipos de trens em circulação, sendo que somente na Linha 2 - Verde, são utilizados os dois trens, conforme tabela 6.2.2.

**Tabela 6.2.2 - Frota de Trens do Metrô de São Paulo, Ficha Técnica.**

<b>Características</b>	<b>Série 100</b>	<b>Série Milênio</b>
Fabricante	MAFERSA	ALSTOM
Formação da Composição (Carro Motor Comando + Carro Motor)	<b>3 X (MC + M)</b>	<b>MC+ M+M+M+M+ MC</b>
Potência [KW]	144	144
Comprimento [m]	22,00	22,00
Velocidade Máxima [km/h]	100	100
Ano de Início de Operação	1971	1999
Aceleração Máxima [m/s <sup>2</sup> ]	1,12	1,12
Bitola [m]	1,60	1,60

<b>Características</b>	<b>Série 100</b>	<b>Série Milênio</b>
Quantidade de Portas por Carro [um]	8	8
Largura do Carro [m]	3,17	3,17
Largura das Portas [m]	1,30	1,30
Número de Carros por Composição [um]	6	6
Lotação por Composição [n.º de passageiros]	(3 x 552) 1656	1619
Comprimento Total da Composição [m]	(3 x 44) 132	132
Frota Adquirida ( Nº Carros)	306	66
Frota em Operação	306	66

**Fonte:** SIMEFRE (58)

Onde: **MC** é carro motor com cabine de comando e **M** é carro motor sem cabine.

Já na CPTM a frota é composta por onze tipos diferentes de trens, sendo que cada uma das 5 linhas possui mais de 2 tipos de material rodante, diferentes em circulação, o que torna a pesquisa nessas linhas muito demorada e trabalhosa.

A opção pela restrição da pesquisa à Linha C possibilitou o estudo em um único tipo de trem, chamado "Espanhol", facilitando assim a análise dos dados.

**Tabela 6.2.3** - Ficha Técnica do Trem "Espanhol" da CPTM, Série 2100

<b>Características</b>	<b>Série 2100</b>
Fabricante	CAF
Formação da Composição (Carro Motor com Comando + Carro Reboque + Carro Reboque com Comando)	<b>MC + R + RC</b>
Caixa	Aço Carbono
Composição da Linha C	Três Carros
Ano de Início de Operação	1998
Altura do Carro [m]	4,35
Largura do Carro [m]	2,90
Comprimento do Carro Motor com Comando ( <b>MC</b> ) [m]	26,205
Comprimento do Carro Reboque com Comando ( <b>RC</b> ) [m]	26,205
Comprimento do Carro Reboque ( <b>R</b> ) [m]	26,160

<b>Características</b>	<b>Série 2100</b>
Aceleração Máxima [m/s <sup>2</sup> ]	0,40
Força de Arranque / Motor de Tração [kN]	23,38
Velocidade Máxima [km/h]	140,00
Freio de Serviço [m/s <sup>2</sup> ]	0,80
Freio de Emergência [m/s <sup>2</sup> ]	1,10
Bitola [m]	1,60
Altura com Pantógrafo Abaixado [m]	4,35
Altura com Pantógrafo Levantado [m]	6,50
Raio Mínimo de Curva Horizontal [m]	130,00
Quantidade de Portas por Carro [um]	4
Largura das Portas [m]	2,12
Lotação Carro Motor com Comando (MC) (Sentados + Em Pé) [n.º de passageiros]	62 + 229
Lotação Do Carro Reboque com Comando (RC) (Sentados + Em Pé) [n.º de passageiros]	64 + 249
Lotação do Carro Reboque (R) (Sentados + Em Pé) [nº de passageiros]	76 + 246
Peso do Carro Motor com Comando (MC) [t]	65
Peso do Carro Reboque com Comando (RC) [t]	45
Peso do Carro Reboque (R) [t]	40

**Fonte:** CPTM (10).

Onde: **MC** é carro motor com cabine de comando, **R** é carro reboque e **RC** é carro reboque com cabine de comando.

### 6.2.3 Escolha do Aparelho de Medição

Dentre os aparelhos de medição de ruído disponíveis na UNICAMP, foi escolhido o medidor de nível de pressão sonora "**2238 Mediator**", fabricado pela empresa dinamarquesa *Brüel & Kjaer*, que mede o nível de pressão sonora na curva de ponderação A, isto é, em dB(A), e que, armazenando e integrando essas medidas ao longo do tempo, fornece uma média equivalente das leituras para um determinado período de tempo; não houve necessidade de se utilizar um aparelho que fornecesse o espectro de frequência das medidas efetuadas, visto que tal informação não faz parte da análise desta pesquisa.

Para possibilitar o uso correto do medidor de nível de pressão sonora durante a coleta de dados da pesquisas, foi necessário proceder a um treinamento prévio com o aparelho, para familiarização com o seu funcionamento e funções, antes de iniciadas as medições em campo, bem como ao estudo do manual de funcionamento e manutenção.

Este aparelho possui um programa próprio para leitura e armazenamento dos dados em computador chamado "*Noise Explorer*", que permite a importação dos dados para o programa "Microsoft Excel", onde poderão ser trabalhados e compilados em gráficos e tabelas, implicando estudo prévio do programa para possibilitar a extração correta dos dados armazenados no medidor de nível de pressão sonora, sua identificação e posterior exportação para o Excel.

O aparelho foi calibrado para as medições segundo os parâmetros apresentados na tabela 6.2.4.

**Tabela 6.2.4** - Parâmetros de Calibração do Medidor de Nível de Pressão Sonora 2238 Mediator

Aparelho:		2238
Aplicação:		BZ7126 versão 1.0
Largura da Banda:		Banda Larga
Detetor ½:	RMS	Pico
Faixa:		50,0 a 130,0 dB
	Tempo	Frequência
Detetor 1:	F	A
Detetor 2:	Pico	C
Estatística	F	A
Nível Critério:		85,0 dB
Limite Inferior:		50,0 dB
Razão de Troca:		3 e 260
Tempo de Exposição:		8:00 horas
Picos acima de:		140,0 dB
Número de Série do Aparelho:		2163291
Número de Série do Microfone:		2179425
Entrada:		Microfone

Correção de Proteção do Vento:		Desligada
Correção S.I.		Aleatória
Data de Calibração:		24/05/01
Nível de Calibração:		94,0 dB
Sensibilidade:		- 29,6 dB
Microfone:		2179425

**Fonte:** Dados Lidos no Aparelho, Fabricante: B&K.



**Figura 6.2.2** - Foto do Aparelho Decibelímetro 2238 *Mediator*

#### **6.2.4 Medições do Ruído**

As medições foram executadas durante o tráfego do trem, e tomadas individualmente para cada trecho entre duas estações.

Foram efetuadas as medições em cada carro da composição (trem), nos dois sentidos do percurso, ida e volta, para aferir possíveis diferenças entre o ruído produzido

em cada uma das vias de circulação e verificar a diferença entre a transmissibilidade dos carros.

As medidas foram efetuadas em horários de vale, pois a quantidade de pessoas dentro do carro interfere diretamente na propagação do som no interior do veículo, de modo que, quanto mais vazio o carro, maior o nível de ruído ao qual o passageiro estará exposto.

Não foram efetuadas medições com o carro vazio, como preconizado pela Norma NBR 13067 de Janeiro de 1994 "Carro Metropolitano, Determinação dos Níveis de Ruído - Método de Ensaio" (1), pois seria necessário obter junto às empresas operadoras a disponibilização de trens exclusivamente para a realização dos ensaios, o que se mostrou inviável; além disso, pelo procedimento da NBR 13067, apesar de verificar os níveis de ruído na situação mais desfavorável, não seria possível obter qualquer informação sobre o ruído dentro do carro durante a operação comercial e sobre o nível de exposição do usuário em condições habituais.

Foram medidos diferentes pontos no interior dos carros: as proximidades das portas, o meio e o fundo. E quando o carro não era climatizado, isto é, quando não equipado com ar condicionado, efetuou-se também medidas com as janelas abertas e fechadas.

Na ocorrência de alguma parada no meio do trecho ou de redução acentuada da velocidade do percurso, as medidas foram refeitas para não deturpar a análise e as conclusões posteriores.

Considerando como ideal a tomada de medidas com o trem trafegando em velocidade operacional normal ao longo de cada trecho, foram previamente avaliados e descartados os trechos com problemas operacionais ou em obras que impedissem a livre circulação dos trens, nas velocidades normais.

As medidas feitas e armazenadas para os trechos entre estações foram, posteriormente, transferidas para o computador, através do programa "*Noise Explorer*", e exportadas para o programa "Microsoft Excel", para análise.

No Excel, os dados foram agrupados em tabelas e inicialmente avaliados quanto ao tempo de medição. Tempos excessivamente grandes ou muito pequenos, em comparação a outras medidas do mesmo trecho, foram descartados e a medida refeita. Também levou-se em conta valores muito diferentes daqueles obtidos nas demais medidas; quando incompatíveis, também foram descartados e a medida refeita.

Dos registros consistentes, foram extraídos gráficos com os valores das medidas de níveis de ruído equivalentes (Leq), em função dos trechos entre as estações, para cada uma das vias, de ida e de volta. Isto permitiu avaliar se o comportamento de cada via era similar ou não, considerando um tempo de percurso entre as estações aproximadamente igual e tomada de medidas realizadas no mesmo carro.

Confrontaram-se então os dados pertinentes às características das linhas e de seus diversos trechos com os valores apurados de nível de ruído e com os tempos de cada medição. Posteriormente, foi inferida a influência de cada tipo de via permanente nos valores de ruído obtidos.

## 7. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

### 7.1 Linha 1 - Azul, Norte - Sul, Metrô de São Paulo

Nesta Linha foram feitas medidas nos dois carros da ponta e nos dois carros do meio do trem, em 20 de junho e 12 de julho de 2001, segundo o esquema abaixo:



**Figura 7.1** – Distribuição dos Carros na composição onde foram feitas as medições e seu sentido de tráfego, Linha 1 – Metrô

Os resultados obtidos no Carro 1 estão compilados na tabela 7.1, a seguir, sendo que os valores de: LAeq, LAFmax, LAFmin, LCpk e Tempo foram obtidos nas medições

com o medidor de nível de pressão sonora. Os valores de distância foram obtidos junto às operadoras (Metrô e CPTM) e os valores de velocidade média foram calculados a partir das distâncias percorridas e de seus respectivos tempos, por exemplo:

Trecho: Tucuruvi - Parada Inglesa

Distância: 889 m

Tempo de percurso: 78 s

$$\text{Velocidade Média} = \frac{\text{Distância}}{\text{Tempo}} = \frac{889}{78} = 11,40 \text{ m/s ou } 41,03 \text{ km/h}$$

$$[\text{m/s}] \times 3,6 = [\text{km/h}]$$

**Tabela 7.1.1** – Valores medidos no Carro 1, trafegando pela Via 2 da Linha 1 do Metrô de São Paulo, em 20/06/01 e 12/07/01

Linha 1 Metrô - Carro 1 Via 2								
Item	Trecho	LAeq [dB]	LAF Max [dB]	LAF Min [dB]	LCpk (MaxP) [dB]	Tempo [s]	Distância [m]	Velocidade Média [km/h]
1	Tucuruvi - Parada Inglesa	89,2	98,7	69,6	114,5	78,00	889	41,03
2	Parada Inglesa - Jd. São Paulo.	89,4	101,1	69,6	115,6	77,00	916	42,83
3	Jd. São Paulo – Santana	96,5	106,7	67,5	119,8	102,00	1327	46,84
4	Santana – Carandiru	81,3	92,1	68,3	111,5	61,00	602	35,53
5	Carandiru - Tietê	79,5	89,1	67	108,5	68,00	821	43,46
6	Tietê - Armênia	82,5	91,8	69,8	122,8	86,00	1107	46,34
7	Armênia - Tiradentes	82,5	89	65,5	106,8	63,00	553	31,60
8	Tiradentes - Luz	84,6	93,8	65,4	113,4	65,00	527	29,19

<b>Linha 1 Metrô - Carro 1 Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
9	Luz – São Bento	85,6	93,1	67,9	110,9	70,00	744	38,26
10	São Bento - Sé	84,3	94,1	67,5	110,4	68,00	591	31,29
11	Sé - Liberdade	79,6	86,2	67,4	106,6	58,00	410	25,45
12	Liberdade - São Joaquim	84,6	92,6	64,9	110,7	66,00	690	37,64
13	São Joaquim – Vergueiro	87,9	97,2	65,7	113	67,00	708	38,04
14	Vergueiro - Paraíso	83,5	91,2	67,4	111,9	65,00	547	30,30
15	Paraíso - Ana Rosa	87,9	98,2	68,2	113,7	65,00	565	31,29
16	Ana Rosa - V. Mariana	88,3	94,5	69	111,3	67,00	832	44,70
17	V. Mariana - Sta. Cruz.	87,7	94,7	65,6	112,4	83,00	1002	43,46
18	Sta. Cruz - Pça da Árvore	89,4	97,3	65,6	113,4	105,00	1175	40,29
19	Pça da Árvore – Saúde	88,8	97	66,1	113,8	73,00	738	36,39
20	Saúde - São Judas	86,3	94,1	67,1	111,2	81,00	652	28,98
21	São Judas - Conceição	86,7	92,9	67,2	109,1	86,00	934	39,10
22	Conceição – Jabaquara	86,4	94,9	68,3	113,4	108,00	1046	34,87
<b>Médias</b>		<b>86,0</b>	<b>94,6</b>	<b>67,3</b>	<b>112,5</b>	<b>75,55</b>	<b>789,82</b>	<b>37,13</b>

**Observação:** - As demais tabelas com as medições deste trecho estão no **Apêndice A.**

Os carros do meio da composição (3 e 4) se mostraram, de fato, mais ruidosos que os das pontas (1 e 6), comprovando as experiências anteriores descritas no Capítulo 5, com níveis de ruído equivalente médio (Leq) acima de 85 dB(A), mesmo para velocidades em torno de 35 Km/h.

O Carro 6 se manteve 1,35 dB(A) abaixo dos Carros 3 e 4, com a mesma velocidade e apenas 1,1 dB(A) abaixo do Carro 1, em razão deste último ter trafegado em velocidade média ligeiramente superior ao Carro 6, 1,68 km/h a mais, em corridas diferentes.

A velocidade média de todas as corridas ficou em torno de 35 km/h, muito aquém da velocidade de 80 km/h, a partir da qual o ruído aerodinâmico começa a pesar no espectro total, de modo que a fonte do ruído predominante foi o contato roda/trilho.

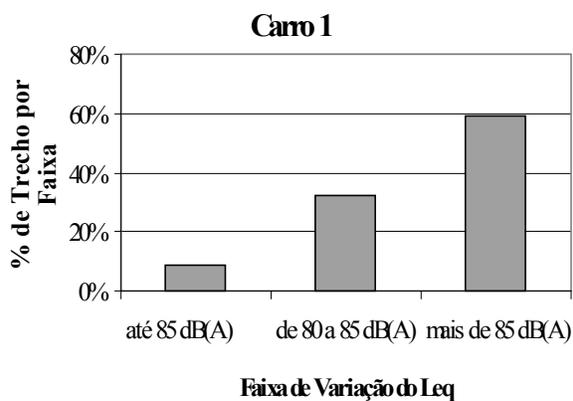
Das 88 (oitenta e oito) medidas de nível de pressão sonora equivalente (Leq) tomadas, apenas 6 ficaram entre 79 e 80 dB(A); a grande maioria permaneceu acima dos 85 dB(A).

Um resumo dos resultados obtidos com as medições dos níveis de pressão sonora na Linha 1 - Azul, do Metrô de São Paulo é mostrado para cada um dos carros nas tabelas 7.1.2 e 7.1.3, bem como nas suas respectivas representações gráficas; gráficos 7.1.1 a 7.1.4.

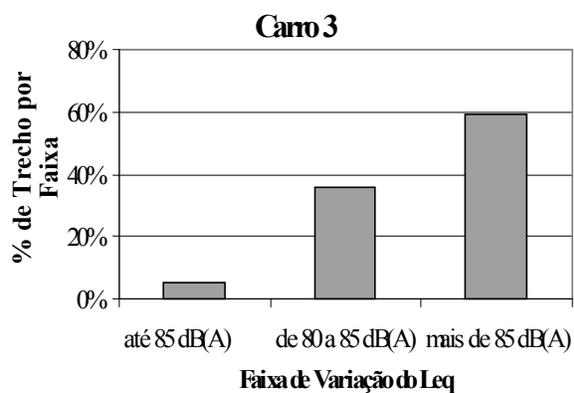
**Tabela 7.1.2** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 1- Azul do Metrô de São Paulo, Carros 1 e 3.

Carro 1			Carro 3		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	1	5 %	Leq < 80 dB(A)	2	9 %
80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	8	36 %	80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	7	32 %
Leq > 85 dB(A)	13	59 %	Leq > 85 dB(A)	13	59 %
<b>Total</b>	22	100 %	<b>Total</b>	22	100 %

Representações Gráficas dos Carros 1 e 3, Linha 1 -Azul do Metrô de São Paulo.



**Gráfico 7.1.1** - Carro 1, Linha 1 - Metrô

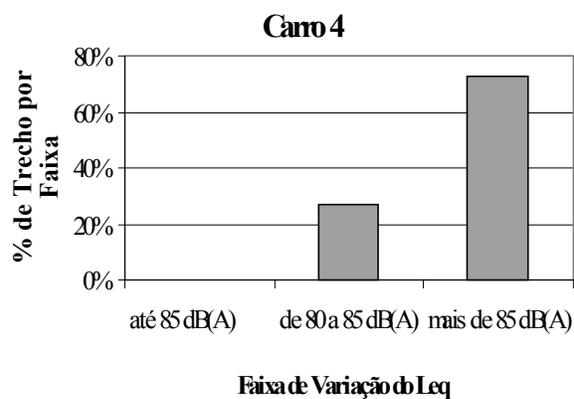


**Gráfico 7.1.2** - Carro 3, Linha 1 - Metrô

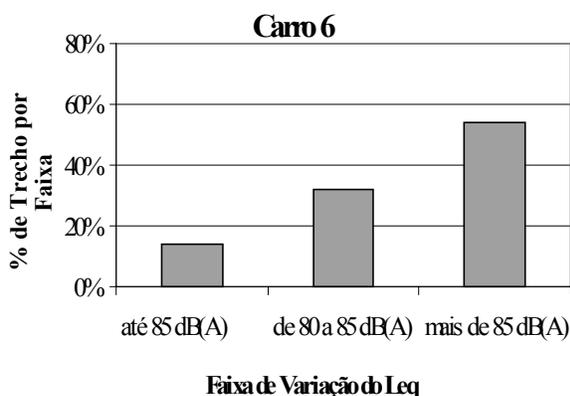
**Tabela 7.1.3** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 1- Azul do Metrô de São Paulo, Carros 4 e 6.

Carro 4			Carro 6		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	3	14 %
80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	6	27 %	80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	7	32 %
Leq > 85 dB(A)	16	73 %	Leq > 85 dB(A)	12	54 %
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 4 e 6, Linha 1 -Azul do Metrô de São Paulo.



**Gráfico 7.1.3** - Carro 4, Linha 1 - Metrô



**Gráfico 7.1.4** - Carro 6, Linha 1 - Metrô

O trecho mais ruidoso, para todos os carros, foi registrado entre as estações de Santana e Jardim São Paulo, onde a seção do túnel é menor que nos demais trechos subterrâneos.

Na tabela 7.1.4, são mostrados os trechos com suas características construtivas e os níveis de pressão sonora equivalente, medida em cada um:

**Tabela 7.1.4** - Características Construtivas da Via Permanente, Linha 1 - Azul do Metrô de São Paulo e o Nível de Pressão Sonora Equivalente

Linha 1 Metrô - Carro 1 Via 2							
Item	Trecho	Característica Construtiva da Via Permanente		LAeq [dB]	Tempo [s]	Distância [m]	Velocidade Média [km/h]
		Infra-estrutura	Superestrutura				
1	Tucuruvi - Parada Inglesa	Vala a céu aberto e NTAM	Fixação direta em lajes de concreto	89,2	78,00	889	41,03

Linha 1 Metrô - Carro 1 Via 2							
Item	Trecho	Característica Construtiva da Via Permanente		LAeq [dB]	Tempo [s]	Distância [m]	Velocidade Média [km/h]
		Infra-estrutura	Superestrutura				
2	Parada Inglesa - Jd. São Paulo	Via Elevada na Estação Parada Inglesa, vala a céu aberto e NTAM no trecho	Fixação direta em lajes de concreto	89,4	77,00	916	42,83
3	Jd. São Paulo – Santana	Via Elevada	Fixação direta em lajes de concreto	96,5	102,00	1327	46,84
4	Santana – Carandiru	Via Elevada	Fixação direta em lajes de concreto	81,3	61,00	602	35,53
5	Carandiru - Tietê	Via Elevada	Fixação direta em lajes de concreto	79,5	68,00	821	43,46
6	Tietê - Armênia	Via Elevada	Fixação direta em lajes de concreto	82,5	86,00	1107	46,34
7	Armênia - Tiradentes	Via Elevada por 217 m e vala a céu aberto no restante do trecho	Fixação direta em lajes de concreto	82,5	63,00	553	31,60
8	Tiradentes - Luz	Vala a céu aberto por 426 m e "Shield" no restante do trecho	Fixação direta em lajes de concreto	84,6	65,00	527	29,19
9	Luz – São Bento	"Shield"	Fixação direta em lajes de concreto	85,6	70,00	744	38,26
10	São Bento - Sé	"Shield"	Fixação direta em lajes de concreto	84,3	68,00	591	31,29
11	Sé - Liberdade	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	79,6	58,00	410	25,45
12	Liberdade - São Joaquim	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	84,6	66,00	690	37,64

<b>Linha 1 Metrô - Carro 1 Via 2</b>							
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>Característica Construtiva da Via Permanente</b>		<b>LAeq [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
		<b>Infra-estrutura</b>	<b>Superestrutura</b>				
13	São Joaquim – Vergueiro	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	87,9	67,00	708	38,04
14	Vergueiro - Paraíso	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	83,5	65,00	547	30,30
15	Paraíso - Ana Rosa	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	87,9	65,00	565	31,29
16	Ana Rosa - V. Mariana	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	88,3	67,00	832	44,70
17	V. Mariana - Sta. Cruz.	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	87,7	83,00	1002	43,46
18	Sta. Cruz - Pça da Árvore	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	89,4	105,00	1175	40,29
19	Pça da Árvore – Saúde	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	88,8	73,00	738	36,39
20	Saúde - São Judas	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	86,3	81,00	652	28,98
21	São Judas - Conceição	Via Elevada por 270 m e Vala a céu aberto no restante do trecho	Fixação direta em lajes de concreto	86,7	86,00	934	39,10
22	Conceição – Jabaquara	Vala a céu aberto	Fixação direta em lajes de concreto	86,4	108,00	1046	34,87
<b>Médias</b>				<b>86,0</b>	<b>75,55</b>	<b>789,82</b>	<b>37,13</b>

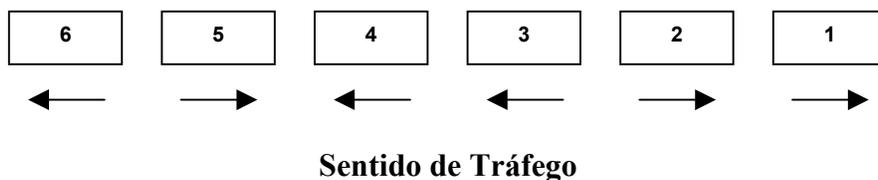
## 7.2 Linha 2 - Verde, Ana Rosa - Via Madalena, Metrô de São Paulo.

Nesta linha, por ser a mais ruidosa segundo levantamentos anteriores, foram tomadas medidas em todos os seis carros, nos dois tipos de composições diferentes, sendo que nos trens da Série Milênio as medidas foram tomadas nos dois sentidos de tráfego em cada carro; as medições foram realizadas nos dias 29 de maio, 07 de agosto e 10 de setembro de 2001.

### SÉRIE MAFERSA

Ana Rosa

Vila Madalena



**Figura 7.2.1** – Distribuição dos Carros, da série MAFERSA, na composição onde foram feitas as medições e seu sentido de tráfego, Linha 2 – Metrô

Os resultados das medições no interior do Carro 1 estão representados na tabela 7.2.1 abaixo, para a Série Mafersa, as demais tabelas com as medições deste trecho estão no Apêndice A.

**Tabela 7.2.1** – Valores medidos no Carro 1, Série Mafersa, trafegando pela Via 1, Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo, em 29/05/01, 07/08/01 e 10/09/01.

<b>Linha 2 Metrô - Carro 1 - Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa – Paraíso	97,4	105,7	72,8	119,6	75	568,93	27,31
2	Paraíso – Brigadeiro	94,7	102,5	75,9	116,1	72	879,98	44,00
3	Brigadeiro – Trianon	90,3	96,9	74,7	112,5	77	817,32	38,21
4	Trianon – Consolação	93	100,3	75,7	114,4	76	845	40,03
5	Consolação - Clínicas	84,3	94,2	76,1	109,5	83	931,26	40,39
6	Clínicas – Sumaré	98,2	108,2	75,8	122	97	633,14	23,50
7	Sumaré - V. Madalena	99,1	111,2	74,2	122,1	92	1409,38	55,15
	<b>Médias</b>	<b>93,86</b>	<b>102,71</b>	<b>75,03</b>	<b>116,60</b>	<b>81,71</b>	<b>869,29</b>	<b>38,37</b>

Nesta série, os carros mais ruidosos foram os dois das pontas (1 e 6), sendo que o Carro 1 fez a maior velocidade média.

Todos os carros da composição apresentaram níveis de pressão sonora equivalente médio - Leq, acima de 85 dB(A), sendo que o menor Leq verificado foi de 88,09 dB(A) no Carro 2, trafegando pela Via 1 e o maior foi de 94,14 dB(A) no Carro 6, trafegando pela Via 2.

Os carros menos ruidosos foram, pela ordem, Carro 2, trafegando pela Via 1; Carro 5, trafegando pela Via 1; Carro 4, trafegando pela Via 2 e Carro 3, trafegando pela Via 2.

A velocidade média ficou em torno dos 37 km/h, muito abaixo dos 80 km/h, logo o ruído predominante foi proveniente do contato roda/trilho.

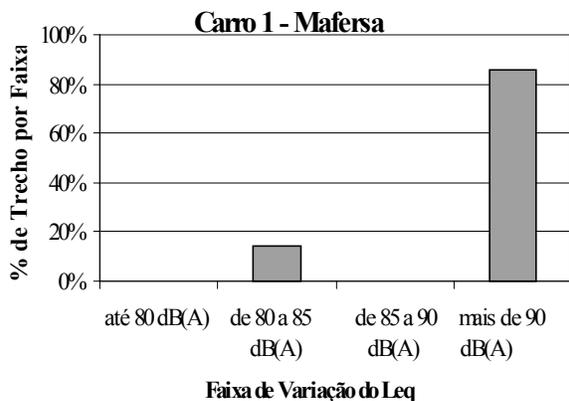
Das 42 (quarenta e duas) medidas de nível de pressão sonora equivalente - Leq tomadas, nenhuma ficou abaixo dos 80 dB(A) e a maioria apresentou valores muito acima dos 85 dB(A).

Um resumo dos resultados obtidos com as medições dos níveis de pressão sonora na Linha 2 - Verde, do Metrô de São Paulo é mostrado para cada um dos carros nas tabelas 7.2.2 a 7.2.4, bem como nas suas respectivas representações gráficas; gráficos 7.2.1 a 7.2.6.

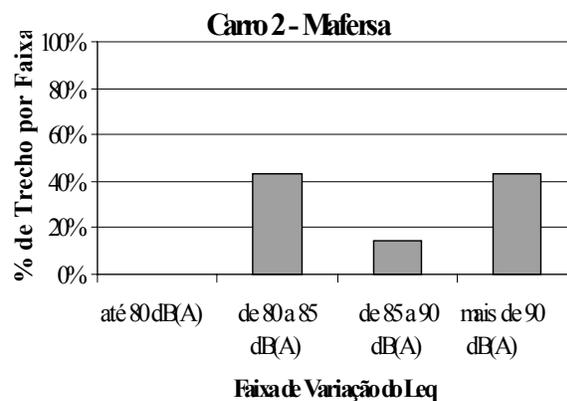
**Tabela 7.2.2** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo, Carros 1 e 2 - Série Mafersa.

Carro 1			Carro 2		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	0	0 %
80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	1	14 %	80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	3	43 %
85 < Leq ≤ 90 dB(A)	0	0 %	85 < Leq ≤ 90 dB(A)	1	14 %
Leq > 90 dB(A)	6	86 %	Leq > 90 dB(A)	3	43 %
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 1 e 2 - Série Mafersa, Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo.



**Gráfico 7.2.1** - Carro 1 - MAFERSA  
Linha 2 - Metrô

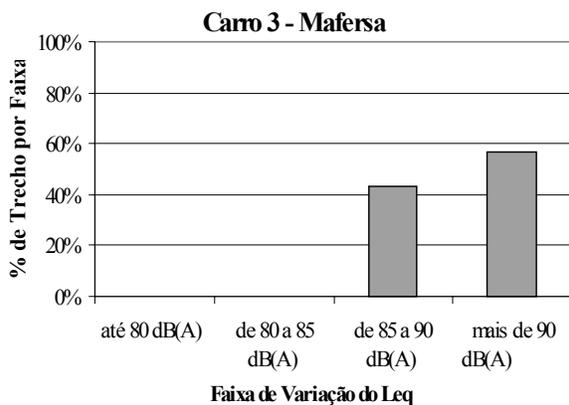


**Gráfico 7.2.2** - Carro 2 - MAFERSA  
Linha 2 - Metrô

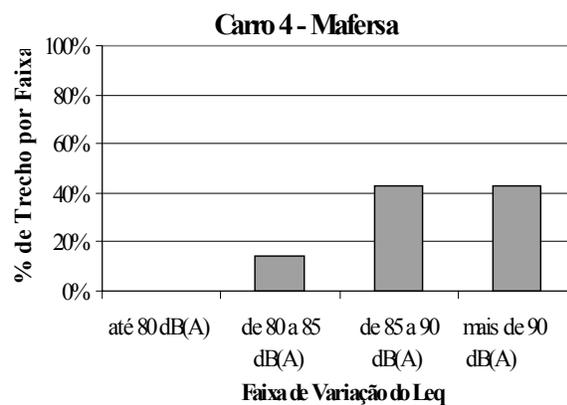
**Tabela 7.2.3** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo, Carros 3 e 4 - Série Mafersa.

Carro 3			Carro 4		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	0	0 %
80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	0	0 %	80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	1	14 %
85 < Leq ≤ 90 dB(A)	3	43 %	85 < Leq ≤ 90 dB(A)	3	43 %
Leq > 90 dB(A)	4	57 %	Leq > 90 dB(A)	3	43 %
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 3 e 4 - Série Mafersa, Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo.



**Gráfico 7.2.3** - Carro 3 - MAFERSA  
Linha 2 - Metrô

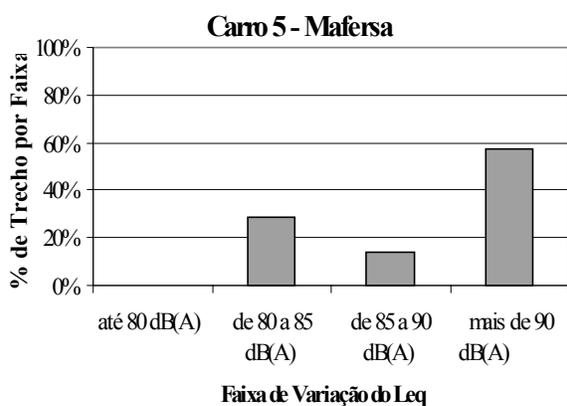


**Gráfico 7.2.4** - Carro 4 - MAFERSA  
Linha 2 - Metrô

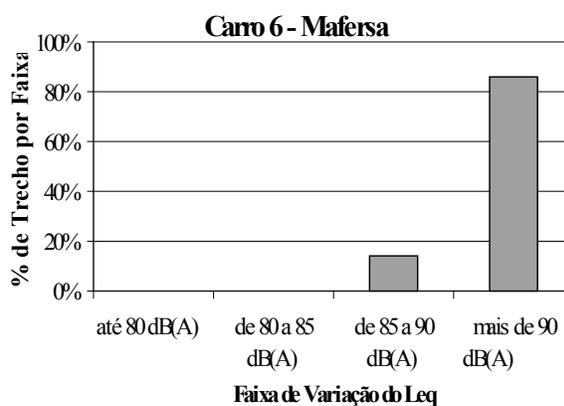
**Tabela 7.2.4** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo, Carros 5 e 6 - Série Mafersa.

Carro 5			Carro 6		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	0	0 %
$80 \leq \text{Leq} \leq 85$ dB(A)	2	29 %	$80 \leq \text{Leq} \leq 85$ dB(A)	0	0 %
$85 < \text{Leq} \leq 90$ dB(A)	1	14 %	$85 < \text{Leq} \leq 90$ dB(A)	1	1 %
Leq > 90 dB(A)	4	57 %	Leq > 90 dB(A)	6	86 %
<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>7</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 5 e 6 - Série Mafersa, Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo.

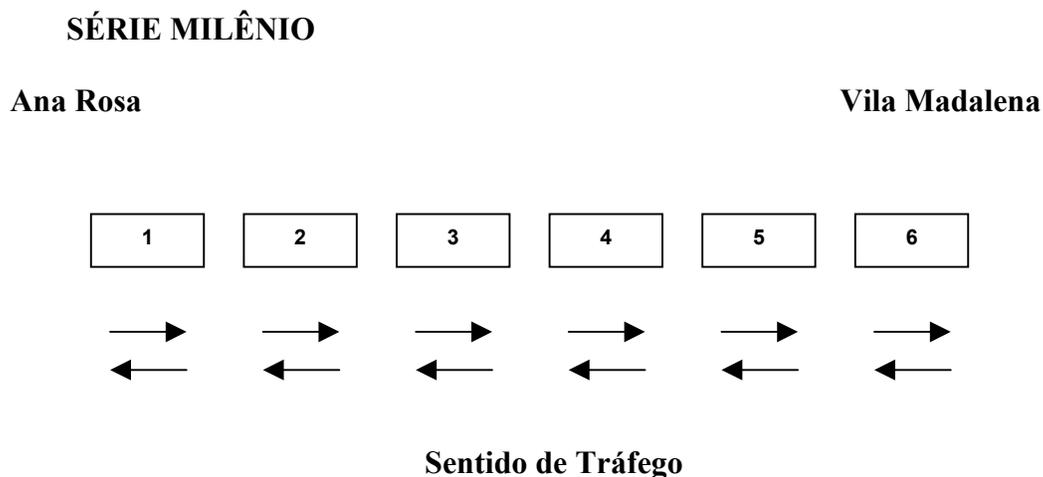


**Gráfico 7.2.5** - Carro 5 - MAFERSA  
Linha 2 - Metrô



**Gráfico 7.2.6** - Carro 6 - MAFERSA  
Linha 2 - Metrô

Para os trens da Série Milênio foram tomadas medidas nos dois sentidos de tráfego para todos os carros da composição, conforme mostrado no esquema da figura 7.7.2:



**Figura 7.2.2** – Distribuição dos Carros, da série MILÊNIO, na composição onde foram feitas as medições e seu sentido de tráfego, Linha 2 – Metrô

Os resultados das medições no interior do Carro 1 estão representados nas tabelas 7.2.5 abaixo, para a Série Milênio, as demais tabelas com as medições deste trecho estão no Apêndice A.

**Tabela 7.2.5** – Valores medidos no Carro 1, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo, em 29/05/01, 07/08/01 e 10/09/01.

<b>Linha 2 Metrô - Carro 1 Milênio - Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa – Paraíso	83,4	96,5	74,5	122,6	99	568,93	20,69
2	Paraíso – Brigadeiro	89,1	96,5	75,8	111,4	93	879,98	34,06
3	Brigadeiro – Trianon	93,9	102,7	74	115,7	68	817,32	43,27
4	Trianon – Consolação	93,9	101,9	74,3	116,4	70	845	43,46

Linha 2 Metrô - Carro 1 Milênio - Via 1								
Item	Trecho	LAeq [dB]	LAF Max [dB]	LAF Min [dB]	LCpk (MaxP) [dB]	Tempo [s]	Distância [m]	Velocidade Média [km/h]
5	Consolação - Clínicas	84	90,4	74,3	111,1	109	931,26	30,76
6	Clínicas – Sumaré	84,2	94,3	74,3	111,8	82	633,14	27,80
7	Sumaré - V. Madalena	98,6	109,3	79,4	122,5	98	1409,38	51,77
	<b>Médias</b>	<b>89,59</b>	<b>98,80</b>	<b>75,23</b>	<b>115,93</b>	<b>88,43</b>	<b>869,29</b>	<b>35,97</b>

Os carros mais ruidosos foram, pela ordem: Carro 3, com nível de pressão sonora equivalente médio (Leq) igual a 93,02 dB(A); Carro 1, com Leq igual a 91,84 dB(A) e Carro 6, com Leq igual a 91,56 dB(A). A velocidade média mais alta foi alcançada pelo Carro 6: 38,10 km/h contra 36,61 km/h do Carro 1 e 37,27 km/h do Carro 3.

Os carros menos ruidosos foram: o Carro 5, com Leq igual a 89,55 dB(A); o Carro 4, com Leq igual a 89,83 dB(A) e o Carro 2, com 90,90 dB(A).

O menor nível de pressão sonora equivalente (Leq) foi de 77,3 dB(A), no Carro 4 trafegando pela Via 2, e o maior foi de 100,5 dB(A), registrado também no mesmo carro e na mesma via, porém em trechos diferentes.

A velocidade média dos trens foi de aproximadamente 37 km/h - abaixo de 80 km/h -, o que significa que o ruído predominante foi gerado pelo contato roda/trilho.

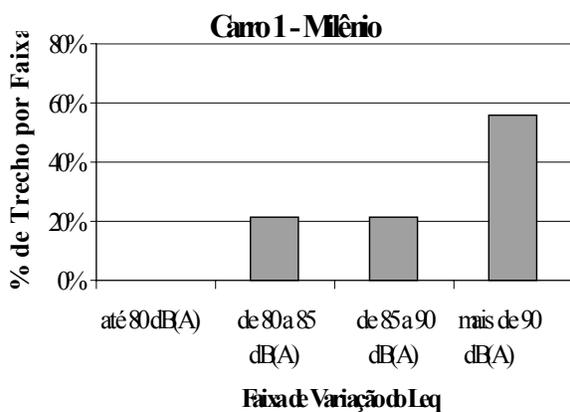
Os níveis de pressão sonora (Leq) no interior dos carros superaram os 80 dB(A) em 83 das 84 medidas realizadas, sendo que em 12 delas o ruído ficou abaixo dos 85 dB(A), mantendo-se as outras 71 medidas acima deste limite.

Um resumo dos resultados obtidos com as medições dos níveis de pressão sonora na Linha 2 - Verde, do Metrô de São Paulo é mostrado para cada um dos carros nas tabelas 7.2.6 a 7.2.8, bem como nas suas respectivas representações gráficas; gráficos 7.2.7 a 7.2.12.

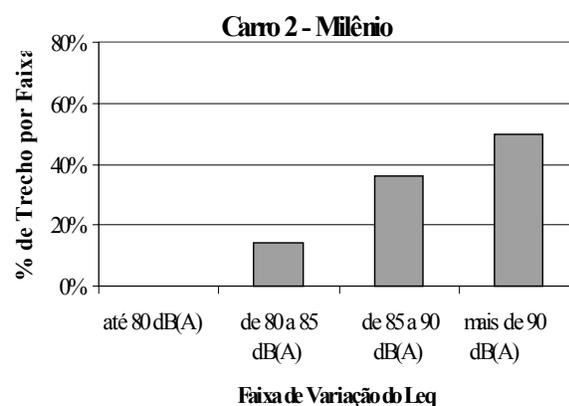
**Tabela 7.2.6** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo, Carros 1 e 2 - Série Milênio

Carro 1			Carro 2		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	0	0 %
80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	3	21,5 %	80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	2	14 %
85 < Leq < 90 dB(A)	3	21,5 %	85 < Leq < 90 dB(A)	5	36 %
Leq ≥ 90 dB(A)	8	57 %	Leq ≥ 90 dB(A)	7	50 %
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 1 e 2 - Série Milênio, Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo.



**Gráfico 7.2.7** - Carro 1 - MILÊNIO  
Linha 2 - Metrô

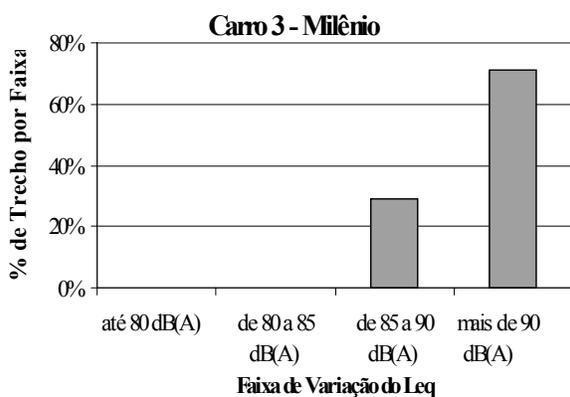


**Gráfico 7.2.8** - Carro 2 - MILÊNIO  
Linha 2 - Metrô

**Tabela 7.2.7** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo, Carros 3 e 4 - Série Milênio

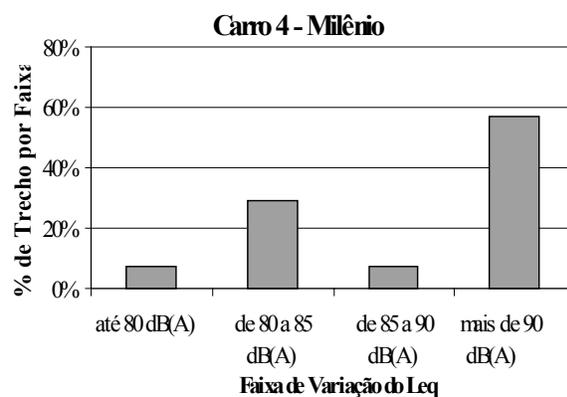
Carro 3			Carro 4		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	1	7 %
80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	0	0 %	80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	4	29 %
85 < Leq < 90 dB(A)	4	29 %	85 < Leq < 90 dB(A)	1	7 %
Leq ≥ 90 dB(A)	10	71 %	Leq ≥ 90 dB(A)	8	57 %
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 3 e 4 - Série Milênio, Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo.



**Gráfico 7.2.9** - Carro 3 - MILÊNIO

Linha 2 - Metrô



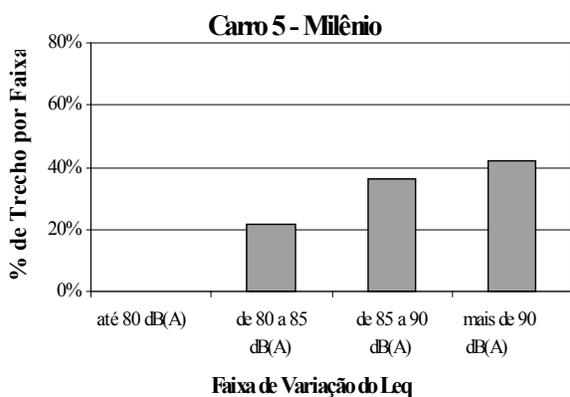
**Gráfico 7.2.10** - Carro 4 - MILÊNIO

Linha 2 - Metrô

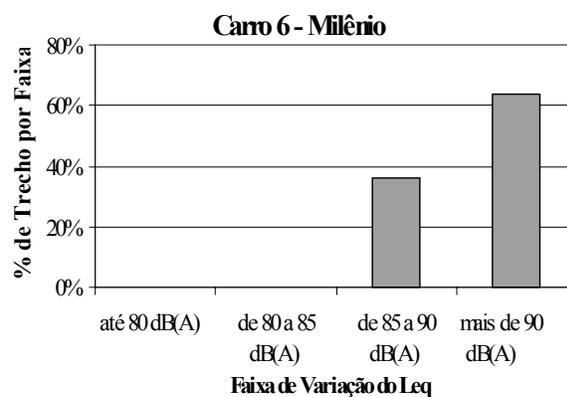
**Tabela 7.2.8** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo, Carros 5 e 6 - Série Milênio

Carro 5			Carro 6		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 80 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	0	0 %
80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	3	21,5 %	80 ≤ Leq ≤ 85 dB(A)	0	0 %
85 < Leq < 90 dB(A)	5	36 %	85 < Leq < 90 dB(A)	5	36 %
Leq ≥ 90 dB(A)	6	42,5 %	Leq ≥ 90 dB(A)	9	64 %
<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>14</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 5 e 6 - Série Milênio, Linha 2 - Verde do Metrô de São Paulo.



**Gráfico 7.2.11** - Carro 5 - MILÊNIO  
Linha 2 - Metrô



**Gráfico 7.2.12** - Carro 6 - MILÊNIO  
Linha 2 - Metrô

Quanto a o aspecto Via Permanente, a análise dos resultados mostrou que os resultados foram bastante aproximados para os dois tipos de trens Mafersa e Milênio.

Para os trens da Série Mafersa, o trecho mais ruidoso em todas as corridas foi entre as estações Sumaré e Vila Madalena, Leq médio = 98,02 dB(A), sendo também o trecho com maior velocidade média, 49,15 km/h; por ser o trecho mais longo permite que o trem atinja maior velocidade no percurso.

Para os Trens da Série Milênio, o mesmo trecho, entre as estações Sumaré e Vila Madalena, apresentou-se mais ruidoso em todas as corridas com Leq igual a 97,72 dB(A) e velocidade média de 50,41 km/h.

Os trechos menos ruidosos, para os Trens da Série Mafersa, foram os dois trechos mais curtos, impedindo o desenvolvimento de velocidades mais altas: Ana Rosa - Paraíso com Leq médio de 89,07 dB(A) e Sumaré - Clínicas com Leq médio de 90,10 dB(A) e, para os Trens da Série Milênio, o trecho menos ruidoso também foi entre as estações Clínicas e Sumaré, com Leq igual a 85,95 dB(A) e velocidade média de 25,61 km/h.

A Via 2 foi mais ruidosa que a Via 1 em todas as corridas, exceto na corrida do Carro 1 da Série Mafersa devido à velocidade média mais alta e para os trens da Série Milênio a Via 2 foi mais ruidosa para os três primeiros carros e a Via 1 para os três últimos, independente das velocidades, mostrando-se neste último caso sem conclusão aparente. As características construtivas da Via 1 são idênticas as da Via 2, bem como a quantidade de AMV's - Aparelhos de Mudança de Via existentes em cada uma delas, de onde se pode concluir por uma condição de maior desgaste da Via 2 em relação a Via 1 na época dos levantamentos.

Na tabela 7.2.9, são mostrados os trechos com suas características construtivas e os níveis de pressão sonora equivalente, medida em cada um:

**Tabela 7.2.9** - Características Construtivas da Via Permanente, Linha 2- Verde do Metrô de São Paulo e o Nível de Pressão Sonora Equivalente

Linha 2 Metrô - Carro 1 - Via 1								
Item	Trecho	Característica Construtiva da Via Permanente		Mafer-sa	Milênio	Distân-cia [m]	Mafer-sa	Milênio
		Infra-estrutura	Superestru-tura	LAeq [dB]	LAeq [dB]		Veloci-dade Média [km/h]	Veloci-dade Média [km/h]
1	Ana Rosa – Paraíso	Vala a céu aberto	Fixação dire-ta em lajes de concreto	97,4	83,4	568,93	27,31	20,69
2	Paraíso – Brigadeiro	Vala a céu aberto por 476 m e "Shield" no restante do trecho	Fixação dire-ta em lajes de concreto	94,7	89,1	879,98	44,00	34,06
3	Brigadeiro – Trianon	"Shield"	Fixação dire-ta em lajes de concreto	90,3	93,9	817,32	38,21	43,27
4	Trianon – Consolação	"Shield"	Fixação resi-liente (sob o MASP) com almofada sob os trilhos do tipo SILO-MER e direta em lajes de concreto no restante do trecho	93,0	93,9	845	40,03	43,46
5	Consolação – Clínicas	"Shield" por 508 m e NATM restante do trecho	Fixação dire-ta em lajes de concreto	84,3	84	931,26	40,39	30,76

<b>Linha 2 Metrô - Carro 1 - Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>Característica Construtiva da Via Permanente</b>		<b>Mafer-sa</b>	<b>Milênio</b>	<b>Distân-cia [m]</b>	<b>Mafer-sa</b>	<b>Milênio</b>
		<b>Infra-estrutura</b>	<b>Superestru-tura</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAeq [dB]</b>		<b>Veloci-dade Média [km/h]</b>	<b>Veloci-dade Média [km/h]</b>
6	Clínicas – Sumaré	NATM	Fixação dire-ta em lajes de concreto por 450 m e sobre laje com massa mola CLOUTH no restante do trecho	98,2	84,2	633,14	23,50	27,80
7	Sumaré - V. Madalena	NATM	Fixação so-bre lajes de concreto com massa mola CLOUTH	99,1	98,6	1409,38	55,15	51,77
<b>Médias</b>				<b>93,86</b>	<b>89,59</b>	<b>869,29</b>	<b>38,37</b>	<b>35,97</b>

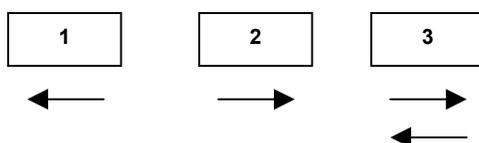
### **7.3 Linha C, Osasco - Jurubatuba, CPTM**

Nesta Linha foram feitas medidas nos três carros da composição, em 01 de agosto de 2001. Todos os carros eram dotados de ar condicionado, com janelas fixas, segundo o esquema abaixo:

## SÉRIE 2100 - ESPANHOL

Jurubatuba

Osasco



**Sentido de Tráfego**

**Figura 7.3** – Distribuição dos Carros na composição onde foram feitas as medições e seu sentido de tráfego, Linha C – CPTM.

Os resultados das medições no interior do carro estão demonstrados na tabela 7.3.1 abaixo, e as demais tabelas, com as medições no interior do Carro 1 e do Carro 2, se encontram no Apêndice A.

**Tabela 7.3.1** – Valores medidos no Carro 3, Série 2100, trafegando pelas Vias V1S e V2S, Linha C da CPTM, em 01/08/01.

<b>Linha C - Carro 3 Espanhol - Via V2S</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Cidade Universitária – Jaguaré	74,1	88,3	63,4	112	176	2521	51,57
2	Jaguaré – Ceasa	76,1	93,4	63,9	110,8	134	1324	35,57
3	Ceasa - Presidente Altino	77,8	97,8	63,8	112	219	2553	41,97
4	Presidente Altino – Osasaco	76,3	95,3	63,2	108,3	176	1700	34,77
<b>Médias</b>		<b>76,08</b>	<b>93,70</b>	<b>63,58</b>	<b>110,78</b>	<b>176,25</b>	<b>2024,50</b>	<b>40,97</b>

<b>Linha C - Carro 3 Espanhol - Via 1S</b>								
1	Osasco - Presidente Altino	76	88,7	65,5	112,1	212	1700	28,87
2	Presidente Altino – Ceasa	75,1	90,5	64,1	105,2	235	2553	39,11
3	Ceasa – Jaguaré	74,5	88,8	65,9	108,6	147	1324	32,42
4	Jaguaré -Cidade Universitária	77,3	88,7	65,6	115,6	205	2521	44,27
5	Cidade Universitária – Pinheiros	77,6	93,3	65,1	109,6	177	1413	28,74
6	Pinheiros - Hebraica / Rebouças	75,8	89	65	110,9	128	935	26,30
<b>Médias</b>		<b>76,05</b>	<b>89,83</b>	<b>65,20</b>	<b>110,33</b>	<b>184,00</b>	<b>1741,00</b>	<b>37,07</b>

O carro mais ruidoso foi o do meio da composição, e o menos ruidoso foi o Carro 1, ou seja, o carro motor. Mesmo com a média das velocidades muito próximas – 32,71 km/h e 31,91 km/h para os Carros 1 e 2, respectivamente –, o Carro 1 apresentou 5,26 dB(A) abaixo da média do nível de pressão sonora equivalente (Leq) do Carro 2.

A média das velocidades das corridas foi de aproximadamente 36 km/h, de modo que o ruído predominante foi proveniente do contato roda/trilho.

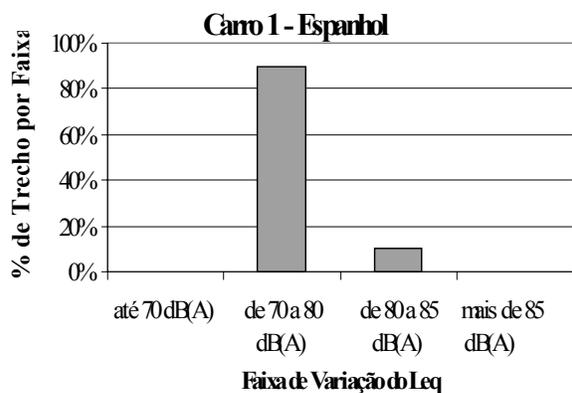
Todos os carros da composição apresentaram níveis de pressão sonora equivalente (Leq) abaixo dos 80 dB(A), com valor médio de 75,5 dB(A) – nível menor, de 72,29 dB(A) no Carro 1, e maior de 77,43 dB(A) no Carro 2.

Um resumo dos resultados obtidos com as medições dos níveis de pressão sonora na Linha C - Celeste, do CPTM é mostrado para cada um dos carros nas tabelas 7.3.3 a 7.3.5, bem como nas suas respectivas representações gráficas; gráficos 7.3.1 a 7.3.3.

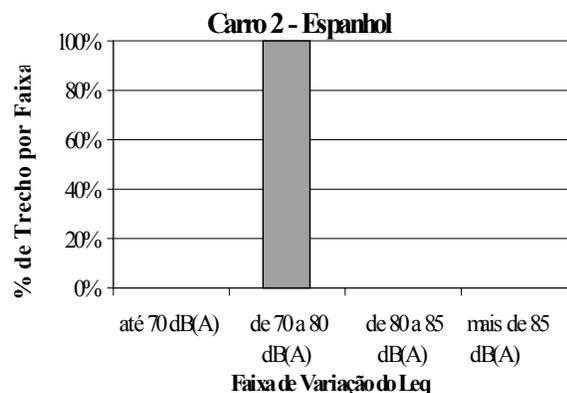
**Tabela 7.3.2** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha C - Celeste da CPTM, Carros 1 e 2, Série Espanhol.

Carro 1			Carro 2		
Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente	Faixa de Variação do Leq	Quantidade de Trechos por Faixa	Porcentagem Equivalente
Leq < 70 dB(A)	0	0 %	Leq < 80 dB(A)	0	0 %
70 ≤ Leq ≤ 80 dB(A)	9	90 %	70 ≤ Leq ≤ 80 dB(A)	8	100 %
80 < Leq < 85 dB(A)	1	10 %	80 < Leq < 85 dB(A)	0	0 %
Leq ≥ 85 dB(A)	0	0 %	Leq ≥ 85 dB(A)	0	0 %
<b>Total</b>	<b>10</b>	<b>100 %</b>	<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>100 %</b>

Representações Gráficas dos Carros 1 e 2 - Série Espanhol, Linha C - Celeste da CPTM.



**Gráfico 7.3.1** - Carro 1 - ESPANHOL  
Linha C – CPTM

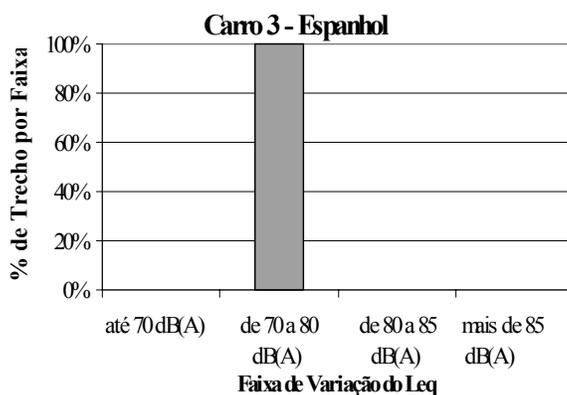


**Gráfico 7.3.2** - Carro 2 - ESPANHOL  
Linha C - CPTM

**Tabela 7.3.3** - Resumo dos Resultados obtidos na Linha C - Celeste da CPTM, Carro 3, Série Espanhol.

<b>Carro 3</b>		
<b>Faixa de Variação do Leq</b>	<b>Quantidade de Trechos por Faixa</b>	<b>Porcentagem Equivalente</b>
Leq < 70 dB(A)	0	0 %
70 ≤ Leq ≤ 80 dB(A)	10	100 %
80 < Leq < 85 dB(A)	0	0 %
Leq ≥ 85 dB(A)	0	0 %
<b>Total</b>	10	100 %

Representação Gráfica do Carro 3 - Série Espanhol, Linha C - Celeste da CPTM.



**Gráfico 7.3.3** – Carro 3 - ESPANHOL  
Linha C – CPTM

O trecho mais ruidoso foi verificado entre as estações Vila Olímpia e Cidade Jardim, e o trecho menos ruidoso entre as estações de Cidade Jardim e Hebraica/Rebouças,

independente da velocidade, não havendo registro de diferença entre o ruído produzido nas Vias 1S e 2S. Como os valores de Leq são muito próximos em todos os trechos, seria necessário fazer uma série maior de medidas para avaliar possíveis causas para os picos de máximos e mínimos níveis de pressão sonora.

Na tabela 7.3.4, são mostrados os trechos com suas características construtivas e os níveis de pressão sonora equivalente, medida em cada um:

**Tabela 7.3.4 - Características Construtivas da Via Permanente, Linha C - Celeste da CPTM e o Nível de Pressão Sonora Equivalente**

<b>Linha C – Celeste da CPTM</b>							
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>Característica Construtiva da Via Permanente</b>		<b>LAeq [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
		<b>Infra-estrutura</b>	<b>Superestrutura</b>				
1	Osasco – Presidente Altino	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de madeira e pedra britada	76,2	194	1700	31,82
2	Presidente Altino - Ceasa	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de madeira e pedra britada	76,5	227	2553	40,54
3	Ceasa – Jaguaré	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	75,3	141	1324	34,00
4	Jaguaré – Cidade Universitária	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	75,7	191	2521	47,92
5	Cidade Universitária – Pinheiros	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	77,8	160	1413	32,28
6	Pinheiros – Hebraica/Rebouças	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	75,3	188	935	19,94

<b>Linha C – Celeste da CPTM</b>							
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>Característica Construtiva da Via Permanente</b>		<b>LAeq [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
		<b>Infra-estrutura</b>	<b>Superestrutura</b>				
7	Hebraica/Rebouças – Cidade Jardim	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	72,0	203	1486	29,91
8	Cidade Jardim – Vila Olímpia	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	77,7	133	957	25,91
9	Vila Olímpia – Berrini	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	76,7	173	1343	29,14
10	Berrini – Morumbi	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	75,7	168	1946	41,70
11	Morumbi – Granja Julieta	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	74,9	125	1281	36,90
12	Granja Julieta – Santo Amaro	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	73,8	342	3875	41,18
13	Santo Amaro – Socorro	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de concreto e pedra britada	74,8	159	1117	25,42
14	Socorro - Jurubatuba	Plataforma sobre aterro	Fixação sobre dormentes de madeira e pedra britada	74,6	195	1812	35,58
<b>Médias</b>				<b>75,5</b>	<b>185,64</b>	<b>24263</b>	<b>33,73</b>

## 7.4 Conclusões Sobre O Experimento

Na Linha 1 - Azul, Jabaquara-Tucuruvi, Metrô de São Paulo, o trecho mais ruidoso é subterrâneo e possui uma seção menor, se comparado ao restante dos trechos em túnel, de onde se conclui que quanto maior o enclausuramento, maior será o ruído gerado e transmitido.

O trecho em elevado a céu aberto, ao contrário do que se esperava em função das observações feitas pelos pesquisadores estudados neste trabalho, não apresentou níveis de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) menores que os trechos subterrâneos.

Mesmo não sendo a linha mais ruidosa do Metrô de São Paulo, a Linha 1- Azul apresentou níveis de ruído muito altos, inaceitáveis (segundo os parâmetros de conforto acústico indicados na tabela 5.3 do capítulo 5), acima de 85 dB(A) em 59 % do percurso para os Carros 1, 3 e 4 e 55% do percurso para o Carro 6, e desconfortável, entre 70 e 85 dB(A), em 41 % e 45% do percurso para os Carros 1 e 3 e 4 e 6, respectivamente.

Na Linha 2 - Verde, Ana Rosa-Vila Madalena, Metrô de São Paulo, as medições nos carros da Série MAFERSA mostraram que, ao contrário da Linha 1 - Azul, os carros das pontas foram mais ruidosos, contrariando assim estudos anteriores descritos no capítulo 5.

O trecho mais ruidoso foi o que apresentou maior velocidade média de tráfego, significando que a velocidade supera, nestes casos, outros fatores na geração do ruído, tais como o tipo de via permanente e o acabamento das superfícies.

Os túneis da Linha 2 foram construídos com o mesmo tipo de "*shield*" que a Linha 1, logo, a seção é igual para ambos. Como neste caso o material rodante também é igual (MAFERSA), conclui-se que o aumento no nível de pressão sonora desta linha,  $L_{eq}$  médio

de 91,55 dB(A) em relação à Linha 1, com Leq médio de 85,84 dB(A), deve-se ao tipo de fixação dos trilhos e à velocidade maior de tráfego.

Verificou-se também que os trechos com massa-mola e fixação semi-rígida não proporcionaram atenuação adicional nos níveis de ruído primário gerados, se comparados aos trechos sem massa-mola e fixação flexível.

Independente do tipo de trem, os trechos mais e menos ruidosos coincidiram mostrando que o comprimento do trecho, velocidade de percurso e tipo de estrutura da via formam um conjunto de características com significância sobre os resultados.

O trecho mais ruidoso da Linha 2 - Verde foi observado entre as estações Sumaré e Vila Madalena. Por ser o mais longo da linha, permite que o trem desenvolva uma velocidade superior, aumentando assim o nível de ruído gerado e transmitido para dentro dos carros. Além disso, por ser todo em massa-mola suas fixações são mais rígidas, de modo a manter a estabilidade da via, o que também causa um incremento no ruído gerado, quando comparado a trechos onde as fixações são elásticas.

O trecho menos ruidoso, no geral, registrou-se entre as estações Clínicas e Sumaré, por ser um trecho curto, não permite que o trem desenvolva maior velocidade entre a aceleração e a desaceleração. Neste trecho foram usados anéis metálicos compartimentados na construção do túnel, o que diminui a transmissibilidade do ruído pela descontinuidade dos raios sonoros refletidos pela superfície.

Comparando-se as duas composições - MAFERSA e MILÊNIO - no trecho de maior ruído, o trem MAFERSA se mostrou mais ruidoso, mesmo em velocidades menores que o trem MILÊNIO, Leq de 98,02 dB(A) para o MAFERSA contra Leq de 97,72 dB(A) para o MILÊNIO, o que leva a concluir que o tempo de uso do primeiro, 32 anos contra 4 anos do segundo, constituiu um fator de influência.

As medições realizadas na Linha C - Celeste da CPTM, entre Osasco e Jurubatuba, mostraram que, em vários aspectos, esta linha diferencia-se das linhas do Metrô de São

Paulo, tanto no tipo de superestrutura (via em lastro com dormentes de concreto) como nos níveis de ruído verificados no interior de suas composições.

Os níveis de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) máximos e mínimos ocorreram dissociados das velocidades máxima e mínima verificadas.

Os valores de  $L_{eq}$  estiveram sempre muito próximos, independente do carro medido, significando o estado homogêneo da via permanente em todos os trechos, vias 1S e 2S, devido à recente remodelação das mesmas.

Além da Linha C ter sido recentemente remodelada, os trens que nela trafegam são climatizados (dotados de ar condicionado), proporcionando um isolamento acústico em relação ao exterior, inexistente nos trens do Metrô, o que justifica, em parte, as diferenças de 10 a 20 dB(A) existentes nos níveis de ruído verificados nos dois sistemas, CPTM e Metrô.

Resumindo, tanto para a Linha 1 - Azul do Metrô como para a Linha C - Celeste da CPTM, os carros do meio da composição se revelaram mais ruidosos do que os carros das pontas, isto é, no Metrô os carros das pontas ficaram em média 1,5 dB(A) abaixo dos carros do meio da composição e na CPTM essa diferença foi de 5,3 dB(A). A exceção ficou por conta da Linha 2 - Verde do Metrô, que também apresentou flutuação maior nos níveis de ruído para um mesmo trecho.

Comparando-se os resultados da Linha C com os resultados obtidos por PAIVA et al. (54) (mostrados na tabela 5.10), na Linha 3 do Metrô, cujas características físicas da via permanente são iguais: via a céu aberto, lastro e dormentes de concreto, da Estação Belém até Itaquera, verificou-se que o Carro 1 da CPTM foi em média 12 % mais silencioso que o Carro 1 do Metrô e o Carro 6 da CPTM foi em média 22% mais silencioso que o carro dos Metrô, para condições similares de via permanente. Neste caso não foi possível avaliar o fator velocidade, uma vez que este dado não está disponível na pesquisa de PAIVA et al. (54).

A velocidade mostrou ser um fator de grande influência na geração do ruído, superando o fator "tipo de via", nestes casos.

Os níveis de pressão sonora verificados na Linha C da CPTM ficaram muito abaixo dos níveis verificados nas Linhas 1 e 2 do Metrô:

Linha C - Celeste:  $70 < \text{Leq médio} < 80$

Linha 1 - Azul:  $\text{Leq médio} > 85$

Linha 2 - Verde:  $\text{Leq médio} > 90$

Segundo a classificação dos níveis de conforto acústico da tabela 5.7, capítulo 5, na Linha C, a situação é de desconforto para o passageiro embarcado, sem risco para a saúde, enquanto nas Linhas 1 e 2 do Metrô de São Paulo os passageiros estão expostos a níveis de ruído inaceitáveis, com risco de danos à saúde e perda de audição, conforme a conclusão de estudos presentes neste trabalho quanto aos danos provocados à saúde devido a exposição ao ruído, de forma contínua e/ou intermitente.

Para que os sistemas sejam considerados confortáveis, o nível de pressão sonora equivalente (Leq) deve ficar abaixo dos 65 dB(A).

Desta forma, como medida emergencial, dever-se-ia tentar baixar os níveis de ruído dos trens do Metrô para menos de 80 dB(A), conforme a NBR-13068 (2), atuando talvez sobre o material rodante, uma vez que os níveis de pressão sonora se encontram em uma faixa muito alta por toda a extensão das linhas, independente de seus pontos críticos.

A modernização da frota, com instalação de ar condicionado nos trens, além do isolamento acústico, traria como benefício adicional o conforto térmico, minimizando a sensação de desconforto durante o trajeto, uma vez que, com o fechamento das janelas basculantes, o ruído interno se torna menor.

O tratamento das superfícies nos trechos críticos deve ser feito pontualmente, após repetitivas medições, com identificação da causa na geração do ruído e com verificação da eficiência acústica nas soluções adotadas.

Não foi possível fazer uma correlação segura entre o tipo de via e o ruído gerado, devido à grande variação na velocidade do trem entre as estações e à impossibilidade de se fazer corridas completas, com velocidades médias constantes do tipo 30 km/h, 50 km/h e 80 km/h, o que permitiria uma comparação eficiente entre os resultados.

Além do fator velocidade, houve dificuldade na comparação entre os diferentes tipos de superestrutura existentes, pois a mudança do tipo de trecho não coincidiu com os pontos reconhecíveis para quem estava do lado de dentro do carro, onde são tomadas as medidas; por exemplo: a divisão do tipo de via não coincidiu com os marcos quilométricos e com as chegadas e saídas das plataformas. Na Linha 1 – Azul, os trechos são de três tipos: em superfície, elevado e subterrâneo, sendo que este último teve dois tipos de sistemas construtivos distintos, *Shield*, NATM e *Cut & Cover* ou Vala a Céu Aberto.

Para possibilitar a análise da influência do tipo de via permanente sobre o ruído gerado seria necessário incrementar a metodologia do trabalho, utilizando-se carros instrumentados, para coleta de dados a velocidades controladas, e obtendo-se, junto às operadoras, a disponibilização de composições destinadas exclusivamente às medições de ruídos internos e externos ao carro. Além disso, seria também necessária a obtenção de dados mais detalhados sobre a geometria dos trechos de via, tais como os raios das curvas, a localização de aparelhos de mudança de via e o tipo de fixação utilizada nos trilhos, e ainda a inspeção dos trechos estudados, para avaliar o desgaste e localizar os pontos críticos.

## **8. SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS E CONCLUSÃO GERAL**

Futuros trabalhos, para o aprimoramento e complementação deste, tendem a ser numerosos. Na medida em que as pesquisas vão sendo aprofundadas, mais e mais questões são colocadas à luz de novas descobertas. Porém, basicamente, há que se iniciar a partir da investigação nas demais Linhas do Metrô de São Paulo: Linha 3 - Vermelha, Barra Funda - Itaquera e Linha 5 - Lilás, Capão Redondo - Largo Treze, sendo que esta última, em fase de início de operação comercial, foi concebida com uma série de inovações tecnológicas, tanto de via permanente como de material rodante, no que se refere ao abatimento de ruídos e vibrações, cuja avaliação é imprescindível para a melhoria das condições existentes nas linhas mais antigas.

Em conjunto, deve ser feita a avaliação das linhas da CPTM, tão logo as obras da Integração Centro – que propiciará a interpenetração e a integração das Linhas A, B, D e E – estejam concluídas e a operação normalizada. Deverá ser feita a avaliação da Linha E, no trecho chamado Extensão Leste, que vai de Artur Alvim a Guaianazes, inaugurado em 2000, e da Linha F, a mais carregada do sistema, que, juntamente com a Linha A, requer maior intervenção para remodelação.

O estudo da literatura disponível sobre o assunto investigado neste trabalho permitiu constatar que o ruído ambiente de modo geral, entre os quais o ruído de tráfego, é

um dos principais problemas ambientais e a causa de um crescente número de queixas da população. Geralmente qualquer ação para reduzir o ruído ambiental tem tido uma prioridade menor que aquela dada a outros problemas ambientais, como a poluição do ar e das águas.

A disponibilidade de dados sobre a exposição ao ruído é geralmente pobre se comparada com a quantidade de dados coletados para mensurar outros problemas ambientais e muitas vezes difíceis de comparar devido as diferentes medidas e métodos de avaliação.

Uma ampla variedade de estudos tem examinado a questão dos custos do ruído de transportes para a sociedade e vários cientistas e especialistas em saúde consideram inaceitável quando muitas pessoas são incomodadas pelo ruído dos meios de transportes, isto é, quando as pessoas são afetadas por distúrbios no sono e quando há riscos de efeitos adversos à saúde da população; uma parcela da população de grandes centros urbanos vive em áreas onde os níveis de ruído são tão altos que causam perturbação mesmo durante o dia.

Nas duas últimas décadas a política de controle de ruídos comunitários tem consistido essencialmente em fixar legalmente os máximos níveis sonoros para veículos, aeronaves e máquinas visando um único segmento de mercado, para implementar acordos internacionais no caso de aeronaves e/ou ligados à certificação de procedimentos que assegurem a fabricação de veículos e equipamentos dentro dos limites estabelecidos legalmente.

Graças a essa legislação e ao progresso tecnológico, uma significativa redução do ruído vem sendo alcançada para cada tipo de fonte.

Contudo a falta da padronização na legislação de diferentes países, bem como na metodologia para os levantamentos dos dados e procedimentos de testes tem dificultado uma ação mais rigorosa no controle do ruído ambiental causado pelos sistemas de transportes. Para as fontes ferroviárias falta estabelecer os limites de ruídos provocados por

diversos equipamentos utilizados a céu aberto, tanto na Comunidade Européia como na América do Norte.

No Brasil, os limites existentes na legislação sobre o ruído no setor ferroviário são geralmente baseados na legislação internacional, sobretudo a européia, pois a Comunidade Européia está mais avançada que os Estados Unidos da América nesse campo de pesquisa, porém os dados e as pesquisas sobre o ruído do transporte metro-ferroviário no Brasil são muito escassos.

Concluindo-se, portanto, que há necessidade de incrementar as pesquisas sobre o ruído nas ferrovias nacionais, com a coleta de dados suficientes, para traçar um perfil do comportamento do setor e sempre com critérios vinculados ao desenvolvimento deste segmento no exterior, isto é, não se deve perder de vista o rumo que está sendo dado ao controle do ruído metro-ferroviário no exterior, de onde vem grande parte dos veículos e equipamentos metro-ferroviários utilizados no Brasil.

Em suma, este trabalho permitiu: a) o conhecimento da acústica aplicada a um meio de transporte pouco investigado no Brasil até agora, a ferrovia; b) a constatação da necessidade da evolução de parâmetros para um projeto de transporte de passageiros; e c) verificar quão prejudicial pode ser o ruído de transporte, quando fora de seus limites admissíveis, à saúde do ser humano.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 13067: *Carro Metropolitano - Determinação dos Níveis de Ruído: Método de Ensaio*. Rio de Janeiro, 1994.
- (2) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. NBR 13068: *Ruídos Interno e Externo em Carro Metropolitano: Procedimento*. Rio de Janeiro, 1994.
- (3) BARSIKOW, B. – *Ingenueurbüro Akusyic - Data - Report n° 94 / 4, Shallemission Vershiedener Radbauarten mit und ohne Schallemin dernde Maß nahamen bei einem Güter Wagen - Versuchszug, Alemanha, 1990*.
- (4) BERTOLI, S. R. - *Acústica e Controle de Ruídos* - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2000.
- (5) BISCA, P. - *Transporte Ferroviário Noções Básicas* - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 1998.

- (6) BORDENAVE, P. - *Planning and Managing for Environmental Regulations to Reduce Project Cost and Delays: Guidelines for Work in Jurisdictional Wetlands/Waters of United States and Elated Endangered Species Issues* - AREMA, 2000.
- (7) BRAGA, M. E. e SANTOS, M. P. S. - *Fontes de Ruído Ambiental e seus Efeitos Indesejáveis*. In: IX ANPT - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. ANAIS.
- (8) BWG - *BWG GmbH & KG Schulung Metrô São Paulo*. Catálogo do Fabricante: CD-NR. BWG -D-02-006, Arquivo: amv vista geral.jpg, 2001. 1 CD-ROM.
- (9) CARVALHO, M. J. M. - *Poluição Sonora no Trânsito e no Interior dos Ônibus na Cidade de Belo Horizonte* - In: IV Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular - SIBRAV, 1997. ANAIS.
- (10) CPTM, COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS - *Home Page*. Disponível em: <http://www.cptm.sp.gov.br>. Acesso em: 28 fev. 2002.
- (11) CPTM, COMPANHIA PAULISTA DE TRENS METROPOLITANOS - *Gerência de Projetos de Infraestrutura - Via Permanente*. São Paulo, 2002.
- (12) EUROPEAN REPORT - *Environment: Noise Assessment and Management Directive in the Offing*. Jul. 2000. Disponível em: <http://www.findarticles.com>. Acesso em: 12 fev. 2001.
- (13) FAS, Federation of American Scientists - Military Analysis Network - *Ship's Silencing Program: Information Sheet Number: 9.7*. Disponível em: [http://www.faz.org/man/dod-101/navy/docs/swos/stu2/NEWIS9\\_7.html](http://www.faz.org/man/dod-101/navy/docs/swos/stu2/NEWIS9_7.html). Acesso em: 07 dez. 2002.

- (14) FITZGERALD, B.M. – *The Development and Implementation of Noise Control Measures on an Urban Railway* – Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 377 – 385, 1996.
- (15) FRID, A. – *A quick and Practical Experimental Method for Separating Wheel and Track Contributions to Rolling Noise* – Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 619 – 629, 2000.
- (16) GARAKIS, E. B. et al. - *Ruído Interno de Aviões - O Caso Brasileiro de Evolução para o Estado da Arte*. In: IV Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular - SIBRAV, 1997. ANAIS.
- (17) GAUTIER, P. E. – *Sixth International Workshop on Railway Noise, 1998: A Summary of Conditions* – Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 471 – 475, 2000.
- (18) GEERLINGS, A. C. e VERHEIJ, J. W. – *Model Based Reciprocity Methods for Measuring Noise Reduction of Shielding Measures for Trains Using Mechanical Substitution Sources*. In: Sixth International Congress on Sound and Vibration, Denmark, 1999.
- (19) GEERLINGS, A. C. et al. – *Model Based Reciprocity Methods for Measuring Noise Reduction of Shielding Measures for Trains Using Mechanical Substitution Sources*. In: Sixth International Congress on Sound and Vibration, Denmark, 1999.
- (20) GERGES, S. N. Y. e MÉLO, N. M. - *Modelagem do Ruído Veicular Interno*. In: IV Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular - SIBRAV, 1997. ANAIS.
- (21) GUIMARÃES, C. A. B. - *Técnicas de Transporte* - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 2000.

- (22) HAAREN, E. V. e TOL, P.H.V. – *Validation of Ray Acoustics Applied for Modeling of Noise Barriers* – Journal of Sound and Vibration, n° 231, p. 681 – 688, 2000.
- (23) HANSON, C. E. – *Proposed New Noise Impact Criteria for Passenger Railway Systems in United States* – Journal of sound and Vibration, n° 193, p. 29 - 34, 1996.
- (24) HARDY, A. E. J. - *Measurement and Assessment of Noise within Passenger Trains* - Journal of Sound and Vibration, n° 231, p. 819 - 829, 2000.
- (25) HECKL, M. e MÜLLER, H. A. - *Taschenbuch der Technischen Akustic, 2 auflage.* Berlin, Alemanha, 1995.
- (26) HÖLZL, G. – *Low Noise Good Wagons* – Journal of Sound and Vibration, n° 193, p. 359 – 366, 1996.
- (27) HOPMANS, L.J.M., et al. – *Measument of Spatial Decay in Railway Track During Train Passages: Comparison of Various Techniques.* In: Sixth International Congress on Sound and Vibration, Denmark, 1999.
- (28) JÄCKER, M. e FRIEDRICH, A. - *Legal and Economic Instruments for Activating the Noise Reduction Potential of Railway Vehicles* - Journal of Sound and Vibration, n° 231, p. 491 - 495, 2000.
- (29) JANSSEN, G. – *Monitoring and Predicting Railway Noise and it's large-scale Impact on the Environment - A Tool for Policy-Makers* - Journal of Sound and Vibration, n° 193, p.253 – 260, 1996.
- (30) JANSSEN, G. e VOS, P. H. de - *On Influence Noise Legislation and Noise Abatement Policy* - Journal of Sound and Vibration, n° 231, p. 951 - 959, 2000.

- (31) JANSSEN, M. H. A. – *Low Noise Slab-Track Design – Acoustic Development and Final Tests*. In: Sixth International Congress on Sound and Vibration, Denmark, 1999.
- (32) JONG, R. G. de e MIEDEMA, H. M. E. – *Is Freight Traffic Noise more Annoying than Passenger Traffic Noise?* Journal of Sound and Vibration, n.º 193, p.445 – 450, 1996.
- (33) JUTULSTAD, H. – *The Issues of Noise and Vibration during the Development of a New Railway Link* – Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 407 – 410, 1996.
- (34) KAKU, J. e YAMADA, I. – *The Possibility of a Bonus for Evaluating Railway Noise in Japan* – Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 445 - 450, 1996.
- (35) KANG, J. - *Modeling of Train Noise in Underground Stations* - Journal of Sound and Vibration, nº 195, p. 241 - 255, 1996.
- (36) KIM, S. H. et al. - *Structural Acoustic Modal Coupling Analysis and Application to Noise Reduction in a Vehicle Passenger Compartment* - Journal of Sound and Vibration, nº 225, p. 989 - 999, 1999.
- (37) KRYLOV, V. - *Noise and Vibration from High-Speed Trains*, Londres, 2001, 435 p. ISBN: 0-7277-2963-2.
- (38) KURRA, S. et al. – *Transportation Noise Annoyance – A Simulated Environment Study for Road, Railway and Aircraft Noises, Part 1: Overall Annoyance* – Journal of Sound and Vibration, nº 220, p. 251 – 278, 1999.
- (39) KURRA, S. et al. - *Transportation Noise Annoyance – A Simulated Environment Study for Road, Railway and Aircraft Noises, Part 1: Activity Disturbance and Combined Results* - Journal of Sound and Vibration, nº 220, p. 279 - 295, 1999.

- (40) KURZE, U. J. et al. - *Sound Emission Limits for Rail Vehicles* - Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 497 - 504, 2000.
- (41) LAMBERT, J. et al. - *Annoyance from High Speed Train Noise: A social Survey* - Journal of sound and Vibration, nº 193, p. 21 - 28, 1996.
- (42) LÉTOURNEAUX, F. et al. - *Assessment of the acoustical Comfort in High Speed Trains at the SNCF: Integration of the Subjective Parameters* - Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 839 - 846, 2000.
- (43) MARQUES S. R. e RUSSO, I. C. P. - *Os Efeitos do Ruído em Motoristas de Ônibus Urbanos do Município de São Paulo*. In: V Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular - SIBRAV, 1999. ANAIS.
- (44) MARSH, A. - *The Fridge Architectural Science Lab., On Line Information and Course Notes* - University of Western Australia, 1999. Disponível em <http://www.squ1.com/> Acesso em: 09 jun. 2001.
- (45) MOEHLER, U. et al. - *Differences Between Railway and Road Traffic Noise* - Journal of Sound and Vibration, n.º 231, p. 853 - 864, 2000.
- (46) NELSON, P. M. - *Transportation Noise Reference Book*, Londres, 1987. 540 p. ISBN: 0-408-01446-6.
- (47) NUNES, A. e PAVARELLO, R. - *Estudo dos Modos Acústicos no Compartimento de Passageiros de Veículos*. In: IV Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular - SIBRAV, 1997. ANAIS.
- (48) OERTLI, J. e WASSMER, D. - *Rail Noise in Switzerland: Legislation, Environment, Politics and Finances* - Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 403 - 406, 1996.

- (49) ÖHRSTRÖM, E. e SKANBERG, A. B. - *A Field Survey on Effects of Exposure to Noise and Vibration from Railway Traffic, Part 1: Annoyance and Activity Disturbance Effects* - Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 39 - 47, 1996.
- (50) PAIVA, C. E. L. - *Introdução à Superestrutura Ferroviária* - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, s.d.
- (51) PAIVA, C. E. L. e BERTOLI, S. R. - *Estudo da Exposição ao Ruído dos Usuários Embarcados no Metrô de São Paulo* - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 1999.
- (52) PAIVA, C. E. L. e BERTOLI, S. R. - *O Transporte e sua Poluição Sonora*. In: IV Simpósio Brasileiro de Acústica Veicular - SIBRAV, 1997. ANAIS.
- (53) PAIVA, C. E. L. e BERTOLI, S. R. - *Ruídos Provocados por Sistemas Ferroviários - Levantamento Inicial*. In: Congresso Internacional de Sistemas de Controle e Cargas Ferroviárias, ABNT, Florianópolis, 1996.
- (54) PAIVA, C. E. L. et al. - *Ruídos em Sistemas de Transportes: Parte I Metrô*. In: Congresso Internacional de Negócios e Tecnologia, ABNT, 1997. ANAIS.
- (55) PIONEER SEAMOUNT ACOUSTICS, Lab. - *Pioneer Seamount - Ship Noise*. Disponível em: <http://www.pmel.noaa.gov/vents/acoustics/pioneer/ship.html>. Acesso em: 06 dez.2002.
- (56) RINGHEIN, M. - *The Nordic Prediction Method for Railway Noise* - Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 277 - 282,1996.
- (57) ROO, F. de - *International Vehicle Type Approval Tests as a Global Noise Policy Instruments*. In: Inter-Noise 99, Fort Lauderdale, Florida, U.S.A., 1999.

- (58) SINDICATO DA INDÚSTRIA DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS FERROVIÁRIOS E RODOVIÁRIOS NO ESTADO DE SÃO PAULO, SIMEFRE - III Curso de Capacitação e Treinamento. São Paulo,1986.
- (59) THOMPSON, D. J. e JONES C. J. C. – *A Review of the Modeling of Wheel/Rail Noise Generation* – Journal of Sound and Vibration, nº 231, p.519 – 536, 2000.
- (60) THOMPSON, D.J. – *Rapporteur's Report: Session 2* – Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 173 –174, 1996.
- (61) TOMEI, F. - *Hypertension and Chronic Exposure to Noise* - Set. 2000. Disponível em: <http://www.findarticles.com>. Acesso em: 12 fev. 2001.
- (62) VOS, P. H. de – *Noise Emission Standards for Railway Vehicles* – Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 439 - 440, 1996.
- (63) VOS, P.H. de – *Railway Noise – The Physics of Air bone Sound Generation and Propagation* – Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 77 – 82, 1996.
- (64) WILBY, J. F. - *Aircraft Interior Noise* - Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 545 - 564, 1996.
- (65) YEROUT, R. et al. - *Continuous Exposure to Noise Work Environments Does Affect Preferred Leisure Noise Levels* - International Journal of Industrial Ergonomics, nº 17, p. 499 - 511, 1996.
- (66) ZACH, A. – *Vibration Insulation Research Results in Switzerland* – Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 877 – 882, 2000.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BAI, M. R. e CHEN H. - *Active Cancellation of Noise in a Car Cabin using the Zero Spillover Controller* - Journal of Sound and Vibration, nº 235, p. 787 - 800, 2000.

BJÖRKMAN, M. e RYLANDER R. - *Maximum Noise Levels in City Traffic* - Journal of Sound and Vibration, nº 205, p. 513 - 516, 1997.

CABRERA, A. e GOBBATO, G. - *Redesign of Frog geometry at New York City Transit to reduce Vibration, Noise and accelerated Wear* - AREMA Publication, p. 456 - 486, 2000.

DINE, C. e FODIMAN, P. - *New Experimental Methods for an Improved Characterization of the Noise Emission Levels of Railway Systems* - Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 631 - 638, 2000.

DITTRICH, M. - *Low Noise Design, Railway Noise* - Institute of Applied Physics (TPD). Disponível em: <http://www.tpd.tno.nl/TPD/smartsite367.html>. Acesso em: 19 jun. 2001.

DITTRICH, M. et al. - *Results of the METARAIL ROUND ROBIN TEST for Railway Rolling Noise* - Institute of Applied Physics (TPD). Disponível em: <http://www.tpd.tno.nl/TPD/smartsite367.html>. Acesso em: 19 jun. 2001.

FERREIRA FILHO, M. S. - *Via Permanente X Ruídos e Vibrações* - Revista Engenharia, nº 529, p. 101 - 105, São Paulo, 1998.

GAUTIER, P. E. - *A Review of Railway Noise Research and Results since the 5<sup>th</sup> IWRN in Voss (Norway)* - Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 477 - 489, 2000.

HÜBNER, P. - *The Action Program of UIC, CER\* and UIP "Abatement of Railway Noise Emissions on Goods Trains"* - Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 511 - 517, 2000.

KIM, S. H. - *Structural-Acoustic Modal Coupling Analysis and Application to Noise Reduction in a Vehicle Passenger Compartment* - Journal of Sound and Vibration, nº 255, p. 989 - 999, 1999.

OERTLI, J. - *Benefit Analysis in Railway Noise Control.* – Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 505 – 509, 2000.

RIGNHEIM, M. – *Workshop on Tracked Transit System Noise, 1995: A Summary of Conclusions* – Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 3 – 7, 1996.

SIMONETT, J. e ZACH, A. - *Noise Impact Simulation of Rolling Stock Improvement: Specific Case Studies in Switzerland* - Journal of Sound and Vibration, nº 231, p. 935 - 940, 2000.

VADILLO, E. G. e HERREROS, J. - *Subjective Reaction to Structurally Radiated Sound from Underground Railways: Field Results* - Journal of Sound and Vibration, nº 193, p. 65 - 74, 1996.

VERNERSSON, T. - *Thermally Induced roughness of Tread -braked Railway Wheels, Part 1: Brake Rig Experiments* - Wear, nº 236, p. 96 - 105, 1999. Disponível em: <http://www.elsevier.com/locate/wear>. Acesso em: 12 fev. 2001.

## **ABSTRACT**

Lage, Jacqueline de Toledo

Study of the Noise inside the Metropolitan Trains of São Paulo and its Effect on the Passengers.

Campinas, University of Civil Engineering of the State University of Campinas, 2003.  
Dissertation of Master's Degree.

The passage of the train's wheels on the rails (wheels/rails contact) during the breakages, acceleration, inscription on curves, approaching of the stations and inside the tunnels provokes an excitement in both rails and road's components that, combined with the characteristics of the location, generate noises.

These noises, which are transmitted by the air and structural ways to the neighborhoods and to the interior of the vehicle, may cause frequent discomforts to the users as well as risks to their health.

In this work we measured and appraised the levels of this generated and transmitted noise into the metropolitan trains of the city of São Paulo, to which the passengers on board remain exposed during the trip.

By means of analysis and evaluation of the Levels of Sound Pressure ( $L_p$ ) acting over the users on board coming from the traffic of metropolitan trains circulating on different types of Permanent Road and tracks of Cia. do Metropolitano de São Paulo and Cia. Paulista de Trens Metropolitanos de São Paulo, we will check the feasible alternatives to minimize the negative impacts.

## APÊNDICE A

Neste Apêndice são apresentados os resultados das medições efetuadas neste trabalho em complementação àquelas apresentadas no capítulo 7.

As medições da Linha 1 - Azul, Norte - Sul, do Metrô de São Paulo, foram feitas nos dois carros da ponta e nos dois carros do meio da composição, em 20 de junho e 12 julho de 2001, e constam das tabelas 7.1.6 a 7.1.8, a seguir.

**Tabela 7.1.6** – Valores medidos no Carro 3, trafegando pela Via 1 da Linha 1 do Metrô de São Paulo

Linha 1 Metrô - Carro 3 Via 1								
Item	Trecho	LAeq [dB]	LAF Max [dB]	LAF Min [dB]	LCpk (MaxP) [dB]	Tempo [s]	Distância [m]	Velocidade Média [ km/h]
1	Jabaquara - Conceição	92,3	103,2	69,3	117,5	116	1046	32,46
2	Conceição - São Judas	89,6	97,7	69,5	112,1	82	934	41,00
3	São Judas- Saúde	86,5	95,9	69,9	111,9	72	652	32,60
4	Saúde - Pça da Árvore	87,7	98,1	68,9	112	78	738	34,06

5	Pça da Árvore - Sta. Cruz	87,2	93,8	69,7	108,8	97	1175	43,61
6	Sta. Cruz - V. Mariana	88,3	94,7	68,3	111,1	83	1002	43,46
7	V. Mariana - Ana Rosa	85,2	92,6	68	109	103	832	29,08
8	Ana Rosa - Paraíso	85,8	93,6	69,1	109,1	71	565	28,65
9	Paraíso - Vergueiro	79	87,4	67	106,8	77	547	25,57
10	Vergueiro - São Joaquim	81,9	87,5	66,4	106,1	82	708	31,08
11	São Joaquim - Liberdade	84,3	89,9	68,4	108	71	690	34,99
12	Liberdade - Sé	81,7	86,5	68,5	110,8	60	410	24,60
13	Sé - São Bento	88,5	99	68,3	115,2	67	591	31,76
14	São Bento- Luz	88,5	99,3	68,1	112,7	75	744	35,71
15	Luz - Tiradentes	82,3	87,4	68,2	105,6	72	527	26,35
16	Tiradentes - Armênia	93	104,2	67,9	117,7	62	553	32,11
17	Armênia - Tietê	85	93,5	67,6	109,2	89	1107	44,78
18	Tietê - Carandiru	82,3	93	68,7	112,2	63	821	46,91
19	Carandiru - Santana	82,3	89,9	68,8	112,2	60	602	36,12
20	Santana - Jd. São Paulo	92,6	102,6	70,4	116,3	100	1327	47,77
21	Jd. São Paulo - P. Inglesa	84,6	90,7	72,2	108,3	103	916	32,02
22	P. Inglesa - Tucuruvi	90,4	98,6	70	113,3	70	889	45,72
<b>Médias</b>		<b>86,32</b>	<b>94,50</b>	<b>68,78</b>	<b>111,18</b>	<b>79,68</b>	<b>789,82</b>	<b>35,47</b>

**Tabela 7.1.7 - Valores medidos no Carro 6, trafegando pela Via 2 da Linha 1 do Metrô de São Paulo**

<b>Linha 1 Metrô - Carro 6 Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Tucuruvi - Parada Inglesa	86,9	94,2	73,2	109,8	84	889	38,10
2	Parada Inglesa - Jd. São Paulo	89,2	100,9	71,6	114,3	80	916	41,22
3	Jd. São Paulo - Santana	96,3	105,8	71,2	118,4	109	1327	43,83
4	Santana - Carandiru	81,2	88,3	70,8	112	65	602	33,34
5	Carandiru - Tietê	79,6	87,6	71,6	109,4	72	821	41,05
6	Tietê - Armênia	82,2	92,6	70,1	113,3	101	1107	39,46
7	Armênia - Tiradentes	81,3	87,8	69,1	108,1	67	553	29,71
8	Tiradentes - Luz	82,2	92,4	68,6	117,8	71	527	26,72
9	Luz - São Bento	83,6	92,5	68,5	110,1	74	744	36,19
10	São Bento - Sé	81,6	91,6	68,6	110,7	72	591	29,55
11	Sé - Liberdade	79,7	86,4	68,9	107,4	56	410	26,36
12	Liberdade - São Joaquim	79,7	85,5	68,7	106,7	78	690	31,85
13	São Joaquim - Vergueiro	86,6	98,1	69,3	112	79	708	32,26
14	Vergueiro - Paraíso	83,2	92,9	68	112,6	67	547	29,39
15	Praíso - Ana Rosa	85,3	95,1	64,3	115,1	64	565	31,78
16	Ana Rosa - V. Mariana	85,2	92,3	65,2	108,9	83	832	36,09
17	V. Mariana - Sta. Cruz	86,6	93,4	67,6	111	82	1002	43,99
18	Sta. Cruz - Pça da Árvore	88,6	97	65,9	112,7	96	1175	44,06
19	Pça da Árvore - Saúde	86,5	96	66,3	112,4	98	738	27,11
20	Saúde - São Judas	86,4	95,6	68,5	113,5	71	652	33,06
21	São Judas - Conceição	88,2	94,9	70,3	111,1	79	934	42,56

22	Conceição – Jabaquara	87,5	92,5	69,9	110,7	89	1046	42,31
	<b>Médias</b>	<b>84,89</b>	<b>93,34</b>	<b>68,92</b>	<b>111,73</b>	<b>78,95</b>	<b>789,82</b>	<b>35,45</b>

**Tabela 7.1.8** - Valores medidos no Carro 4, trafegando pela Via 1 da Linha 1 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 1 Metrô - Carro 4 Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Jabaquara - Conceição	83,6	93,5	72,6	109,8	177	1046	21,27
2	Conceição - São Judas	89,8	98,2	73,8	113,4	81	934	41,51
3	São Judas- Saúde	89,1	101,9	73,1	118,6	72	652	32,60
4	Saúde - Pça da Árvore	88,1	94,5	72,6	111,7	82	738	32,40
5	Pça da Árvore - Sta. Cruz	93,3	103,8	73	117,7	97	1175	43,61
6	Sta. Cruz - V. Mariana	89,2	96,5	70,8	112,6	89	1002	40,53
7	V. Mariana - Ana Rosa	88,8	96,8	71,3	112,5	89	832	33,65
8	Ana Rosa - Paraíso	87,3	95,5	72,3	114,7	70	565	29,06
9	Paraíso - Vergueiro	84,4	92,5	71,8	113,4	75	547	26,26
10	Vergueiro - São Joaquim	85,6	91,2	71,8	109,3	77	708	33,10
11	São Joaquim - Liberdade	87,3	95,7	72,4	113,4	78	690	31,85
12	Liberdade - Sé	84,4	92,2	73,3	113,5	63	410	23,43
13	Sé - São Bento	91,7	103,8	74,9	119,7	65	591	32,73
14	São Bento- Luz	91,4	101,5	74,1	115,7	83	744	32,27
15	Luz - Tiradentes	88,4	96,4	73,9	114,4	73	527	25,99
16	Tiradentes - Armênia	90	99	74,6	114,7	69	553	28,85
17	Armênia - Tietê	82	89,6	73,7	109,8	114	1107	34,96
18	Tietê - Carandiru	83,8	92,3	74	117,8	71	821	41,63
19	Carandiru - Santana	82,3	93,3	74,6	112,6	72	602	30,10

20	Santana - Jd. São Paulo	93,7	106,6	72,5	120,7	114	1327	41,91
21	Jd. São Paulo - P. Inglesa	97,6	107,1	75,7	120,2	79	916	41,74
22	P. Inglesa - Tucuruvi	87,7	96,8	75,7	113,6	84	889	38,10
<b>Médias</b>		<b>86,16</b>	<b>97,21</b>	<b>73,30</b>	<b>114,54</b>	<b>85,18</b>	<b>789,82</b>	<b>33,53</b>

As medições da Linha 2 - Verde, Ana Rosa-Vila Madalena, do Metrô de São Paulo, foram feitas em todos os seis carros, nos dois tipos de composições diferentes, sendo que, nos trens da Série Milênio, as medidas foram tomadas nos dois sentidos de tráfego em cada carro; essas medições foram realizadas nos dias 29 de maio, 07 de agosto e 10 de setembro de 2001 e constam das tabelas 7.2.10 a 7.2.25, a seguir.

**Tabela 7.2.10** - Valores medidos no Carro 1, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 1 Milênio - Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	V. Madalena – Sumaré	97,9	109,1	73,9	122,2	96	1373,06	51,49
2	Sumaré – Clínicas	95,4	109,1	73,9	122,2	177	634,17	12,90
3	Clínicas – Consolação	97,1	108,7	72,1	121,4	79	922,24	42,03
4	Consolação – Trianon	98,5	111,2	72,7	125,7	70	845,57	43,49
5	Trianon – Brigadeiro	93,1	98,6	72,9	114,1	67	817,78	43,94
6	Brigadeiro – Paraíso	87,9	94,1	73,1	110	91	877,4	34,71
7	Paraíso - Ana Rosa	88,7	95,4	75	111,5	64	571,32	32,14
<b>Médias</b>		<b>94,09</b>	<b>103,74</b>	<b>73,37</b>	<b>118,16</b>	<b>92,00</b>	<b>863,08</b>	<b>37,24</b>

**Tabela 7.2.11** - Valores medidos no Carro 2, Série Mafersa, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 2 – Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa – Paraíso	82	93,3	58,7	110	80	568,93	25,60
2	Paraíso – Brigadeiro	84,9	91,6	72,3	109	103	879,98	30,76
3	Brigadeiro – Trianon	91,9	99,2	73,3	114,5	77	817,32	38,21
4	Trianon – Consolação	91,9	101,5	74	115,7	73	845	41,67
5	Consolação – Clínicas	89,1	95,9	73,5	111,1	79	931,26	42,44
6	Clínicas – Sumaré	81,9	87,5	72,7	106,9	83	633,14	27,46
7	Sumaré - V. Madalena	94,9	105,5	73,2	119,2	109	1409,38	46,55
<b>Médias</b>		<b>88,09</b>	<b>96,36</b>	<b>71,10</b>	<b>112,34</b>	<b>86,29</b>	<b>869,29</b>	<b>36,10</b>

**Tabela 7.2.12** - Valores medidos no Carro 2, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 2 Milênio Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa – Paraíso	86	97,9	77	111,9	78	568,93	26,26
2	Paraíso – Brigadeiro	86,1	91,8	75,6	110,6	92	879,98	34,43
3	Brigadeiro – Trianon	87,9	95,2	75,7	111,3	96	817,32	30,65
4	Trianon – Consolação	91,9	102,2	77,2	116	88	845	34,57
5	Consolação – Clínicas	90,6	99,5	77,4	113,4	82	931,26	40,88
6	Clínicas – Sumaré	82,8	95,8	77	109,9	90	633,14	25,33
7	Sumaré - V. Madalena	96,8	107,3	79,6	120,7	93	1409,38	54,56
<b>Médias</b>		<b>88,87</b>	<b>98,53</b>	<b>77,07</b>	<b>113,40</b>	<b>88,43</b>	<b>869,29</b>	<b>35,24</b>

**Tabela 7.2.13** – Valores medidos no Carro 2, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 2 Milênio Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Vila Madalena - Sumaré	100,4	112,4	72,2	124,4	85	1373,06	58,15
2	Sumaré - Clínicas	84,5	95,2	72,7	114,9	80	634,17	28,54
3	Clínicas - Consolação	98,1	107,9	71,5	122,5	72	922,24	46,11
4	Consolação - Trianon	95,8	103,2	71,4	117,8	64	845,57	47,56
5	Trianon - Brigadeiro	93,1	99,1	71,2	114,3	72	817,78	40,89
6	Brigadeiro - Paraíso	89,5	96,9	72	113,5	87	877,4	36,31
7	Paraíso - Ana Rosa	89,1	97,8	73,5	117,1	58	571,32	35,46
<b>Médias</b>		<b>92,93</b>	<b>101,79</b>	<b>72,07</b>	<b>117,79</b>	<b>74,00</b>	<b>863,08</b>	<b>41,86</b>

**Tabela 7.2.14** – Valores medidos no Carro 3, Série Mafersa, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 3 Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Vila Madalena - Sumaré	98,9	110,3	78,9	127,1	97	1373,06	50,96
2	Sumaré - Clínicas	96,4	106,9	76,2	120,4	80	634,17	28,54
3	Clínicas - Consolação	97,2	106,6	78,2	119,4	75	922,24	44,27
4	Consolação - Trianon	95,7	102,3	77,1	116,1	76	845,57	40,05
5	Trianon - Brigadeiro	89,5	97,3	76,9	113,8	93	817,78	31,66
6	Brigadeiro - Paraíso	88	98,3	75,2	120,8	72	877,4	43,87
7	Paraíso - Ana Rosa	88,1	98,2	78,8	112,1	86	571,32	23,92
<b>Médias</b>		<b>93,40</b>	<b>102,84</b>	<b>77,33</b>	<b>118,53</b>	<b>82,71</b>	<b>863,08</b>	<b>37,61</b>

**Tabela 7.2.15** – Valores medidos no Carro 3, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 3 Milênio Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa - Paraíso	89,9	94,5	76,2	112,5	106	568,93	19,32
2	Paraíso - Brigadeiro	91,6	98,8	74,8	113,9	95	879,98	33,35
3	Brigadeiro - Trianon	95,8	95,4	75,4	110,5	82	817,32	35,88
4	Trianon - Consolação	95,6	102,6	76,3	118,9	76	845	40,03
5	Consolação - Clínicas	85,8	97,9	75,3	105,7	81	931,26	41,39
6	Clínicas - Sumaré	89,4	100,5	74,6	116,1	87	633,14	26,20
7	Sumaré - V. Madalena	97,3	103,8	78,1	123,5	102	1409,38	49,73
<b>Médias</b>		<b>92,20</b>	<b>99,07</b>	<b>75,81</b>	<b>114,44</b>	<b>89,86</b>	<b>869,29</b>	<b>35,13</b>

**Tabela 7.2.16** – Valores medidos no Carro 3, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 3 Milênio Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Vila Madalena - Sumaré	99,9	109,1	78,3	122,5	106	1373,06	46,63
2	Sumaré - Clínicas	86,1	97,6	74,7	115,9	95	634,17	24,03
3	Clínicas - Consolação	96,8	105,5	74,6	120,5	82	922,24	40,49
4	Consolação - Trianon	97,6	104	76,3	118,9	60	845,57	50,73
5	Trianon - Brigadeiro	95,8	100,4	75,4	115,7	61	817,78	48,26
6	Brigadeiro - Paraíso	90,4	96,8	74,6	112,1	97	877,4	32,56
7	Paraíso - Ana Rosa	90,3	98,8	76,3	113,5	62	571,32	33,17
<b>Médias</b>		<b>93,84</b>	<b>101,74</b>	<b>75,74</b>	<b>117,01</b>	<b>80,43</b>	<b>863,08</b>	<b>39,41</b>

**Tabela 7.2.17** – Valores medidos no Carro 4, Série Mafersa, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 4 - Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	V. Madalena - Sumaré	98,6	108,2	73,1	122,9	100	1373,06	49,43
2	Sumaré - Clínicas	83,2	94,3	72,1	123,4	86	634,17	26,55
3	Clínicas - Consolação	92,1	102,4	70,8	118,1	87	922,24	38,16
4	Consolação - Trianon	93,1	101,2	71,6	115,4	79	845,57	38,53
5	Trianon - Brigadeiro	89,4	95,8	70,9	111,8	75	817,78	39,25
6	Brigadeiro - Paraíso	86,9	94,9	71,6	113,3	100	877,4	31,59
7	Paraíso - Ana Rosa	87,1	94,6	71,9	116,7	70	571,32	29,38
<b>Médias</b>		<b>90,06</b>	<b>98,77</b>	<b>71,71</b>	<b>117,37</b>	<b>85,29</b>	<b>863,08</b>	<b>36,13</b>

**Tabela 7.2.18** – Valores medidos no Carro 4, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 4 Milênio - Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa - Paraíso	87,2	95,7	75,7	115,1	82	568,93	24,98
2	Paraíso - Brigadeiro	91	100,3	75,1	136,5	90	879,98	35,20
3	Brigadeiro - Trianon	94,4	103,6	75,1	129,1	76	817,32	38,72
4	Trianon - Consolação	93,1	101,9	75,6	116	77	845	39,51
5	Consolação - Clínicas	84,1	95,2	75	108,6	90	931,26	37,25
6	Clínicas - Sumaré	84,9	98	75	111	76	633,14	29,99
7	Sumaré - V. Madalena	97	107,4	77,4	120,2	98	1409,38	51,77
<b>Médias</b>		<b>90,24</b>	<b>100,30</b>	<b>75,56</b>	<b>119,50</b>	<b>84,14</b>	<b>869,29</b>	<b>36,77</b>

**Tabela 7.2.19** – Valores medidos no Carro 4, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 4 Milênio - Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	V. Madalena - Sumaré	100,5	112	77,2	123,3	100	1373,06	49,43
2	Sumaré - Clínicas	84,7	93,9	76,8	112,9	82	634,17	27,84
3	Clínicas - Consolação	92,4	100,8	75,9	116,7	74	922,24	44,87
4	Consolação - Trianon	96,6	104,9	73,1	120	64	845,57	47,56
5	Trianon - Brigadeiro	93	98,3	74,3	114,7	68	817,78	43,29
6	Brigadeiro - Paraíso	77,3	84,6	74	102,3	102	877,4	30,97
7	Paraíso - Ana Rosa	81,4	89,6	75,9	105	76	571,32	27,06
<b>Médias</b>		<b>89,41</b>	<b>97,73</b>	<b>75,31</b>	<b>113,56</b>	<b>80,86</b>	<b>863,08</b>	<b>38,72</b>

**Tabela 7.2.20** – Valores medidos no Carro 5, Série Mafersa, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 5 - Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa - Paraíso	84	93,3	72,7	108	58	568,93	35,31
2	Paraíso - Brigadeiro	86,9	91,8	71,3	106	93	879,98	34,06
3	Brigadeiro - Trianon	91,6	98,2	73,8	112,5	77	817,32	38,21
4	Trianon - Consolação	92,9	102,3	73	115,3	73	845	41,67
5	Consolação - Clínicas	92,5	100,4	71,3	114	77	931,26	43,54
6	Clínicas - Sumaré	83,6	91,8	72,1	111,7	91	633,14	25,05
7	Sumaré - V. Madalena	96,7	106,6	71,6	120,4	111	1409,38	45,71
<b>Médias</b>		<b>89,74</b>	<b>97,77</b>	<b>72,26</b>	<b>112,56</b>	<b>82,86</b>	<b>869,29</b>	<b>37,65</b>

**Tabela 7.2.21** – Valores medidos no Carro 5, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 5 Milênio - Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	V. Madalena - Sumaré	96,1	106,7	78,5	120,6	106	1373,06	46,63
2	Sumaré - Clínicas	84	94,6	77,5	115,5	82	634,17	27,84
3	Clínicas - Consolação	90,1	98,9	76,3	115,4	90	922,24	36,89
4	Consolação - Trianon	92,2	101	77	114,9	76	845,57	40,05
5	Trianon - Brigadeiro	89,7	95,5	76,4	112,2	72	817,78	40,89
6	Brigadeiro - Paraíso	86,7	94,4	76,5	112,5	97	877,4	32,56
7	Paraíso - Ana Rosa	86,2	97	78,7	110,7	82	571,32	25,08
<b>Médias</b>		<b>89,29</b>	<b>98,30</b>	<b>77,27</b>	<b>114,54</b>	<b>86,43</b>	<b>863,08</b>	<b>35,71</b>

**Tabela 7.2.22** – Valores medidos no Carro 5, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 5 Milênio - Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa - Paraíso	84,5	92,2	73,2	108,7	73	568,93	28,06
2	Paraíso - Brigadeiro	89,8	96,1	74,5	111,4	91	879,98	34,81
3	Brigadeiro - Trianon	93,8	106,5	73,6	119,8	91	817,32	32,33
4	Trianon - Consolação	95	103,9	72,9	118,4	69	845	44,09
5	Consolação - Clínicas	85,1	91,2	73,5	108,7	114	931,26	29,41
6	Clínicas - Sumaré	83,7	91,6	73,9	111,8	89	633,14	25,61
7	Sumaré - V. Madalena	96,7	106,5	75	120,8	107	1409,38	47,42
<b>Médias</b>		<b>89,80</b>	<b>98,29</b>	<b>73,80</b>	<b>114,23</b>	<b>90,57</b>	<b>869,29</b>	<b>34,53</b>

**Tabela 7.2.23** – Valores medidos no Carro 6, Série Mafersa, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 6 - Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Temp [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	V. Madalena - Sumaré	99,9	115,2	77,5	123,5	105	1373,06	47,08
2	Sumaré - Clínicas	97,3	106,2	76,7	119,6	85	634,17	26,86
3	Clínicas - Consolação	86,8	98,2	75,4	107,3	83	922,24	40,00
4	Consolação - Trianon	92,7	100,4	75,2	114,9	78	845,57	39,03
5	Trianon - Brigadeiro	91,4	97,7	76,0	113,1	76	817,78	38,74
6	Brigadeiro - Paraíso	95,1	100,6	75,7	115	90	877,4	35,10
7	Paraíso - Ana Rosa	95,8	103	78,3	102,4	72	571,32	28,57
<b>Médias</b>		<b>94,14</b>	<b>103,04</b>	<b>76,40</b>	<b>113,69</b>	<b>84,14</b>	<b>863,08</b>	<b>36,48</b>

**Tabela 7.2.24** – Valores medidos no Carro 6, Série Milênio, trafegando pela Via 1, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 6 Milênio - Via 1</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Ana Rosa - Paraíso	88,8	96,3	77,2	112,1	61	568,93	33,58
2	Paraíso - Brigadeiro	90,7	102,7	75,7	116	101	879,98	31,37
3	Brigadeiro - Trianon	96,3	117,9	77,5	105,7	58	817,32	50,73
4	Trianon - Consolação	95,5	118,9	77,3	104,8	70	845	43,46
5	Consolação - Clínicas	93	98,3	77,4	114,5	72	931,26	46,56
6	Clínicas - Sumaré	85,5	98,2	77,1	111,4	90	633,14	25,33
7	Sumaré - V. Madalena	95,5	105,8	78	120,3	101	1409,38	50,24
<b>Médias</b>		<b>92,19</b>	<b>105,44</b>	<b>77,17</b>	<b>112,11</b>	<b>79,00</b>	<b>869,29</b>	<b>40,18</b>

**Tabela 7.2.25**– Valores medidos no Carro 6, Série Milênio, trafegando pela Via 2, Linha 2 do Metrô de São Paulo

<b>Linha 2 Metrô - Carro 6 Milênio - Via 2</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	V. Madalena - Sumaré	95,9	104,7	77,5	126,8	105	1373,06	47,08
2	Sumaré - Clínicas	86,1	100,2	77,7	112,6	88	634,17	25,94
3	Clínicas - Consolação	92,8	102,3	77,4	117,6	84	922,24	39,52
4	Consolação - Trianon	92,6	100,7	76,2	115,5	80	845,57	38,05
5	Trianon - Brigadeiro	91,5	99,9	76,6	112,8	77	817,78	38,23
6	Brigadeiro - Paraíso	88,8	96,6	76,7	117	92	877,4	34,33
7	Paraíso - Ana Rosa	88,8	102	78,6	112,9	71	571,32	28,97
<b>Médias</b>		<b>90,93</b>	<b>100,91</b>	<b>77,24</b>	<b>116,46</b>	<b>85,29</b>	<b>863,08</b>	<b>36,02</b>

As medições da Linha C - Celeste, Osasco - Jurubatuba, foram feitas nos três carros da composição, em 10 de agosto de 2001, e constam das tabelas 7.3.5 e 7.3.6, a seguir.

**Tabela 7.3.5** - Valores medidos no Carro 1, Série 2100, trafegando pela Via V1S, Linha C da CPTM

<b>Linha C - Carro 1 Espanhol - Via V1S</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Hebraica / Rebouças - Cidade Jardim	70,3	88,6	62,7	116,9	273	1486	19,60
2	Cidade Jardim - Vl. Olímpia	70,8	87,8	62,1	98,9	134	957	25,71
3	Vl. Olímpia - Berrini	73,4	91,7	61,7	101,7	208	1343	23,24
4	Berrini - Morumbi	72,6	87,2	64,2	100,6	169	1946	41,45
5	Morumbi - Granja Julieta	72,8	87,2	61,9	100,3	127	1281	36,31
6	Granja Julieta - Sto.	72,6	88,8	63,5	101,7	311	3875	44,86

	Amaro							
7	Santo Amaro - Socorro	72,6	89,1	64,1	100,2	152	1117	26,46
8	Socorro - Jurubatuba	73,2	90,4	64,1	102	148	1812	44,08
<b>Médias</b>		<b>72,29</b>	<b>88,85</b>	<b>63,04</b>	<b>102,79</b>	<b>190,25</b>	<b>1727,13</b>	<b>32,71</b>

**Tabela 7.3.6** – Valores medidos no Carro 2, Série 2100, trafegando pela Via V2S, Linha C da CPTM

<b>Linha C – Carro 2 Espanhol - Via V2S</b>								
<b>Item</b>	<b>Trecho</b>	<b>LAeq [dB]</b>	<b>LAF Max [dB]</b>	<b>LAF Min [dB]</b>	<b>LCpk (MaxP) [dB]</b>	<b>Tempo [s]</b>	<b>Distância [m]</b>	<b>Velocidade Média [km/h]</b>
1	Jurubatuba - Socorro	76	99,2	63,4	109,1	241	1812	27,07
2	Socorro - Santo Amaro	77	96,4	62,9	106	165	1117	24,37
3	Sto. Amaro - Granja Julieta	75	96,4	61,7	110	372	3875	37,50
4	Granja Julieta - Morumbi	76,9	95,7	63,5	106,7	123	1281	37,49
5	Morumbi - Berrini	78,7	96,3	63,9	116,6	167	1946	41,95
6	Berrini - Vl. Olímpia	79,9	97,4	62,9	111,2	138	1343	35,03
7	Vl. Olímpia - Cidade Jardim	84,5	93,2	66,1	103,3	132	957	26,10
8	Cidade Jardim - Hebraica / Rebouças	73,7	90,1	63,3	109,9	133	1486	40,22
9	Hebraica / Rebouças - Pinheiros	74,7	92,4	63,3	109,9	248	935	13,57
10	Pinheiros - Cidade Universitária	77,9	97,4	61,7	107,2	142	1413	35,82
<b>Médias</b>		<b>77,43</b>	<b>95,45</b>	<b>63,27</b>	<b>108,99</b>	<b>186,10</b>	<b>1616,50</b>	<b>31,91</b>

## GLOSSÁRIO

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
B&K	Brüel & Kjaer
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
Cut & Cover	Método de escavação que consiste em abrir valas a céu aberto, executar a obra e enterrar, literalmente cortar e cobrir.
DB – AG	Deutsche Bahn - Ferrovia Alemã
Decibelímetro	Medidor de Nível Sonoro
Dosímetro	Medidor de Dosagem Sonora
DRL	Docklands Light Railway - Ligação ferroviária Inglesa
ECE	Economic Council for Europe
EMBRAER	Empresa Brasileira de Aeronáutica
ERRI	European Rail Research Institute
EU	European Union
Fon	Escala de Volume Sonoro
Green Paper	Um documento de consulta sobre Meio Ambiente elaborado para a Comunidade Européia
Had-way	Tempo de intervalo entre dois trens consecutivos de uma linha
Hidrofone	Fone aquático par captação de ruídos e sons
ICE	Trem alemão de média a alta velocidade
IEC	International Electrotechnical Commission

ISO	International Organisation for Standardisation
LTN	Low-Noise-Train and Programme Description 1996 - Programa de Computador
METRÔ	Companhia do Metropolitano de São Paulo
Microsoft Excell	Programa de computador do sistema operacional Windows para elaboração de planilhas e gráficos
NATM	New Austrian Tunnelling Method, método austríaco para escavação de túneis no qual, após a escavação do maciço, instala-se a estrutura de suporte (concreto projetado, cambotas, tirantes), Austria 1950/60
Noise Explorer	Programa de computador para leitura dos dados armazenados nos decibelímetros da B&K
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
Shield	Equipamento para abertura de túneis que consiste de uma broca gigantesca; utilizado pela primeira vez na Inglaterra no séc. XIX
SNCF	Société Nationale des Chemins de Fer Français - Ferrovia Francesa
Sonar	Sistema de detecção de ruído existente em navios e submarinos
TGV	Trem francês de alta velocidade
TNO	Institute of Applied Physics of the Netherlands - Instituto de Pesquisas Holandês
TNS	Trains Noise in Stations - Programa de computador
TWINS	Track-Wheel Interaction Noise - Programa de computador
UBA	Agência Federal Alemã de Meio Ambiente
UIC	International Union of Railways
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas