



METODOLOGIA PARA INVESTIGAÇÃO DE RELAÇÃO ENTRE RUÍDO DE
TRÁFEGO E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO FLUXO EM CENTROS
URBANOS

Frederico Rodrigues

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Carlos David Nassi
Suzana Kahn Ribeiro

Rio de Janeiro
Dezembro de 2010

METODOLOGIA PARA INVESTIGAÇÃO DE RELAÇÃO ENTRE RUÍDO DE
TRÁFEGO E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO FLUXO EM CENTROS
URBANOS

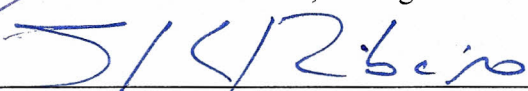
Frederico Rodrigues

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ
COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Examinada por:



Prof. Carlos David Nassi, Dr. Ing.



Prof. Suzana Kahn Ribeiro, D. Sc.



Prof. Licínio da Silva Portugal, D. Sc.



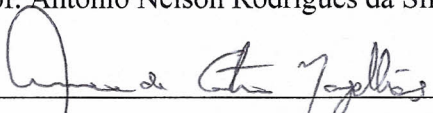
Prof. Jules Ghislain Slama, D. Sc.



Prof. Ronaldo Balassiano, Ph. D.



Prof. Antônio Nelson Rodrigues da Silva, D. Sc.



Prof. Max de Castro Magalhães, Ph. D.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

DEZEMBRO DE 2010

Rodrigues, Frederico

Metodologia para investigação de relação entre ruído de tráfego e condições operacionais do fluxo em centros urbanos/ Frederico Rodrigues. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XVIII, 265 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Carlos David Nassi

Suzana Kahn Ribeiro.

Tese (Doutorado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2010

Referências Bibliográficas: p. 173-183.

1. Ruído de tráfego. 2. Divisão Modal 3. Modelo de predição de ruído de tráfego I. Nassi, Carlos David *et al.*. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à nação brasileira
que permitiu que eu estudasse de forma
gratuita por toda minha vida.

AGRADECIMENTOS

Enfim, este propósito traçado a mais de 10 anos é alcançado. E para chegar até aqui, inúmeras foram as contribuições essenciais para que esta conquista fosse contemplada e, desta forma, faz-se mister reservar um espaço onde fique eternamente registrado, mesmo que de uma forma incomensuravelmente menor do que o real mérito daqueles que são lembrados, o nome de todos que contribuíram para a conclusão deste objetivo.

Primeiramente agradeço à Deus, pelo dom da vida e por toda força necessária para trilhar este caminho, muitas vezes árduo, e repleto de escolhas a serem feitas.

Aos meus orientadores, Professor Nassi e Professora Suzana, que delinearam o traçado de como chegar aqui, com suas orientações que proporcionaram muito mais do que aprendizados técnicos. Aos professores Lícínio, Balassiano e Márcio Peixoto pelo auxílio nas disciplinas cursadas.

À minha mãe (Val), que defende este doutorado junto comigo, em virtude de todos os esforços realizados para que o mesmo se tornasse realidade. Muitos anos de dedicação, paciência, incentivo e apoio. Também anos de preocupação com tantas viagens ao Rio, estradas nem sempre tão seguras. Enfim, meu muito obrigado por tudo até hoje na minha vida, que faz com que este título seja também seu.

A meu irmão Fabrício, que teve que aturar meu humor ao longo destes anos, bem como muitas vezes se privar de uma série de coisas dentro de casa só para deixar a sala livre para que eu pudesse estudar. Além disso, pela ajuda prática na revisão do abstract.

À minha família, que sempre me apoiou e ajudou de forma concreta para que esta conquista se tornasse verdadeira. Em especial à minha avó Neusa, meu avô João, que deve estar muito orgulhoso aonde quer que esteja, meus tios (as) Carlos, Nane, Ézio e Neumar.

A meus amigos, que contribuíram de forma concreta para este objetivo, acordando às 4h da manhã para me ajudar com a coleta de dados. Fica meu agradecimento principalmente ao Cris, Philippe e Tágua por se disponibilizarem neste programa um tanto que diferente (pra não dizer outra coisa).

À Marcela, por toda ajuda técnica e concreta nesta tese, bem como por todo carinho, compreensão, companheirismo e quintas-feiras de estudo na biblioteca. Obrigado pelos lanches, pela compreensão com meu humor e pelos finais de semana em

que fiquei o tempo todo de frente ao computador. Obrigado de coração. Você também faz parte desta conquista.

À ImTraff Consultoria e Projetos de Engenharia, pelo financiamento de todos os custos com coleta de dados da pesquisa.

À Tectran, nas pessoas de Silvestre e Eduardo, pelo apoio real proporcionado, sem o qual esta conquista não teria sido possível.

À BHTrans, nas pessoas de Márcio Batitucci e Marcelo Cintra, que deram o apoio e informações necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa.

À UFRJ, COPPE e ao PET pela infraestrutura disponibilizada para a concretização desta Tese.

Ao Sr. Enrique Peñalosa, por toda boa vontade, atenção e viabilização da pesquisa realizada em Bogotá.

À Universidad de los Andes, na pessoa de José Pacheco, que contribuiu de forma direta para a coleta de dados realizada em Bogotá.

Ao senhor Wagner C. Alves, pelo auxílio e viabilização da coleta de dados no Expresso Tiradentes.

À Viação Cometa, pelas várias viagens de ônibus até o Rio, e em especial à Gol Linhas Aéreas e à WebJet que, com o barateamento das passagens, permitiram concretizar a parte final do doutorado de uma forma mais fácil.

A todos os clientes da ImTraff, que foram compreensíveis com todas quintas-feiras em que estive fora da empresa.

Aos amigos da Odebrecht República Dominicana, que de forma indireta financiaram parte desta pesquisa, além de terem me proporcionado crescimento pessoal em virtude da experiência de trabalho juntos.

À Darlayne... que esteve tão presente no início e meio desta caminhada, ajudando também de forma concreta com todo apoio possível e imaginável. Esta vitória também é sua. Minha gratidão é eterna.

Aos professores Carlos Alberto Faria e Max de Castro, que além de orientadores no mestrado se tornaram amigos, dando sempre contribuições técnicas também na etapa de doutorado.

E por fim, agradeço verdadeiramente a meu país que, mesmo com todas suas imperfeições, me proporcionou a oportunidade de ter um ensino de qualidade e gratuito desde meu 2º grau no CEFET-MG.

Resumo de Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

METODOLOGIA PARA INVESTIGAÇÃO DE RELAÇÃO ENTRE RUÍDO DE TRÁFEGO E CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO FLUXO EM CENTROS URBANOS

Frederico Rodrigues

Dezembro / 2010

Orientadores: Carlos David Nassi
Suzana Kahn Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

A poluição sonora em centros urbanos está diretamente ligada ao fluxo de tráfego nas vias, bem como os tipos de veículos, além de diversas outras variáveis independentes. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi desenvolver uma metodologia, aplicá-la e assim identificar quais seriam os impactos que alterações na atual configuração da operacionalidade dos sistemas de transporte (demanda e oferta), bem como da divisão modal do transporte de passageiros em centros urbanos, provocariam nos níveis de ruído emitidos, focados, a priori na transferência de usuários do automóvel, e também motocicletas, para o ônibus avaliando, inclusive, os efeitos a partir das modificações que ocorreriam na operação do tráfego (formação de filas, grau de saturação, velocidade média, etc). A metodologia utilizada contemplou a calibração de um modelo específico de previsão de ruído de tráfego e coleta de diversos dados de ruído e de tráfego em uma série de corredores viários, incluindo alguns exclusivos para ônibus. Os resultados obtidos apontam para um aparente contra senso onde menores volumes de veículos em circulação podem gerar mais ruído do que um elevado número de veículos, em função da relação entre volume e velocidade de fluxo. Isto permite inferir que esforços para minimização de ruído através do gerenciamento da mobilidade devem ser feitos bem planejados e, mesmo assim, podem não ser tão eficazes se implantadas isoladamente. Além disso, aponta para a geração de ruído pelo contato com o pavimento, como uma das formas a serem priorizadas no que diz respeito a investimentos em pesquisas.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

METHODOLOGY FOR INVESTIGATION OF RELATIONSHIP BETWEEN
TRAFFIC NOISE AND TRAFFIC OPERATING CONDITIONS IN URBAN
CENTERS

Frederico Rodrigues

December / 2010

Advisors: Carlos David Nassi
Suzana Kahn Ribeiro

Department: Transport Engineering

Noise pollution in urban areas is directly linked to the traffic flow on roads and the types of vehicles, as well as several other independent variables. However, today is not possible to infer with certainty what would be the impacts on noise levels in urban centers, from a successful action to encourage the use of buses rather than cars, that is, a collective mode instead of an individual one. Thus, the objective of this study was to develop a methodology, apply it and, in this way, to identify what would be the impacts that changes in the current configuration on operation of transport systems (demand and supply), and the modal split of passenger transport in urban centers, would result in noise levels emitted focused in transfer of automobile and motorcycle users to buses, evaluating the effects on traffic operation (queuing, saturation degree, average speed, etc.). The methodology used included the calibration of a specific traffic noise prediction model and collecting various data from noise and traffic in several urban points, including Bus way exclusive. The results indicate small decreases and, in some cases, even increased noise when the number of vehicles in circulation decreases in function of a greater use of public transport. This allows the conclusion that efforts to minimize noise through the management of mobility should be made well planned, and even that, may not be effective. Additionally, it was concluded that the generation of noise by contact with the ground, as a way to be prioritized with respect to investments in research.

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Considerações Iniciais	1
1.2	Objetivo.....	5
1.3	Justificativa do Tema e Explicações do Objetivo Proposto.....	6
1.4	Aplicação Prática dos Produtos desta Tese.....	10
1.5	Originalidade Constante na Tese.....	11
1.6	Estruturação do Documento	13
2	FUNDAMENTOS DE ACÚSTICA E RUÍDO DE TRÁFEGO.....	15
2.1	Fundamentos de Acústica Aplicados ao Ruído de Tráfego urbano.....	15
2.2	Parâmetros Descritores do Ruído de Tráfego	19
2.2.1	Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq)	20
2.2.2	Níveis Percentuais Estatísticos (Ln)	20
2.2.3	Índice de Ruído de Tráfego (TNI)	21
2.2.4	Nível de Poluição Sonora	21
2.3	Algumas Legislações, Resoluções e Normas de Interesse	21
2.3.1	A Organização Mundial de Saúde – OMS.....	21
2.3.2	Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.....	22
2.3.3	NBR 10.151 – ABNT, 2000	23
2.3.4	NBR 10.152 – ABNT, 2000	23
2.3.5	LEI NÚMERO 9.505 DE 23/01 DE 2008 – Belo Horizonte - MG	24
2.4	Considerações sobre Ruído Veicular.....	24
2.5	Subáreas de Pesquisas sobre Ruído de Tráfego Urbano	25
2.6	Mensuração e Avaliação dos Níveis de Ruído devido ao Tráfego Veicular	27
2.7	Percepção do Usuário Quanto ao Ruído	30
2.8	Efeitos Físicos e Fisiológicos do Ruído no Homem.....	32
2.9	Parâmetros que Influenciam o Ruído de Tráfego	35
2.10	Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Ruído de Tráfego.....	38
2.11	Demais Temas Correlatos de Pesquisas sobre Ruído de Tráfego	43
2.12	Impactos da Escolha, Caracterização e Alteração da Divisão Modal	47
2.13	Considerações Finais	54
3	METODOLOGIA DE TRABALHO	56
3.1	Coleta de Dados.....	56
3.1.1	Pontos de Medição.....	56

3.1.2	Níveis Sonoros.....	57
3.1.3	Inventário Viário.....	60
3.1.4	Fluxo Veicular.....	62
3.1.5	Velocidade Média do Fluxo de Tráfego.....	62
3.1.6	Ocupação Média dos Veículos.....	63
3.1.7	Grau de Saturação.....	63
3.1.8	Formação de Fila.....	63
3.1.9	Identificação de Fenômenos Específicos.....	64
3.2	Tratamento, Apresentação e Discussão dos Dados.....	64
3.3	Análise da Relação entre Geração de Ruído e Características Operacionais de Sistemas de Transporte.....	65
3.3.1	Análises da Relação entre Ruído e Condições Operacionais dos Sistemas de Transporte.....	65
3.3.2	Análises da Relação entre Ruído e Condições Operacionais da Via (Grau de Saturação).....	66
3.3.3	Procedimento Adicional para Análise da Correlação entre Ruído e Grau de Saturação.....	68
3.4	Desenvolvimento do Modelo de Predição de Ruído de Tráfego.....	69
3.4.1	Análise das Variáveis Independentes.....	72
3.4.2	Validação Estatística do Modelo.....	74
3.5	Aplicação do Modelo de Predição Junto ao PlanMobBH e Demais.....	75
3.5.1	PlanMobBH.....	75
3.5.2	Simulações a Partir das Condições Operacionais do Sistema de Transporte.....	76
4	ÁREA DE ESTUDO, MATERIAIS E PROCEDIMENTOS ESPECÍFICOS. 77	
4.1	Local Onde Será Realizado o Estudo de Caso.....	77
4.1.1	Belo Horizonte.....	77
4.1.2	ACA1: Avenida Presidente Antônio Carlos.....	82
4.1.3	ACA2: Avenida Presidente Antônio Carlos.....	82
4.1.4	AMA1: Avenida Amazonas.....	83
4.1.5	AMA2: Avenida Amazonas.....	84
4.1.6	PED1: Avenida Dom Pedro II.....	84
4.1.7	PED2: Avenida Dom Pedro II.....	85
4.1.8	PED3: Avenida Dom Pedro II.....	85
4.1.9	SIB1: Avenida Silviano Brandão.....	86
4.1.10	SIB2: Avenida Silviano Brandão.....	86
4.1.11	SEB1: Av. Sebastião de Brito.....	87
4.1.12	LIN1: Linha Verde (MG050).....	87
4.2	Pontos com Restrição a Algum Modo de transporte.....	88
4.2.1	São Paulo: Expresso Tiradentes.....	88
4.2.2	Eixo Ambiental: Bogotá (Colômbia).....	89
4.3	Análise Complementar da Relação Ruído x Grau de Saturação.....	90
4.4	Equipamentos Utilizados.....	91
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	93
5.1	Dados Gerais Obtidos.....	93
5.2	Discussão dos Dados Coletados.....	99
5.2.1	Ruído.....	99
5.2.2	Tráfego.....	99
5.2.3	Velocidades Médias.....	100
5.2.4	Ocupações Veiculares.....	100

6	ANÁLISE DA GERAÇÃO DE RUÍDO DE TRÁFEGO URBANO ATRAVÉS DA CONTEXTUALIZAÇÃO DE INDICADORES OPERACIONAIS DO SISTEMA DE TRANSPORTE	101
6.1	Ruído x Capacidade do Sistema de Transporte	101
6.2	Capacidade do Sistema x Total de Pessoas Transportadas	103
6.3	Características das Relações entre Oferta e Demanda de Transporte de Passageiros	106
6.4	Relações entre Ruído e Divisão Modal do Transporte de Passageiros	110
6.4.1	Resumo Geral da Divisão Modal Identificada	112
6.5	Relações Específicas de Engenharia de Tráfego.....	114
6.6	Relações entre Ruído x Indicadores de Engenharia de Tráfego	117
6.6.1	Relações Gerais	117
6.6.2	Investigação da Relação entre Níveis de Ruído e Grau de Saturação.....	118
6.6.3	Investigação da Relação entre Níveis de Ruído e Grau de Saturação (2)	125
6.7	Análise de Ruído Per Capita ao Longo do Dia	128
6.8	Influência da Atividade Urbana	129
6.9	Síntese das Conclusões Obtidas	132
7	CALIBRAÇÃO DO MODELO	134
7.1	Procedimentos para Obtenção do Modelo de Predição de Ruído.....	134
7.2	Demais Considerações sobre o Procedimento de Calibração do Modelo.....	148
7.3	Detalhamento do Modelo Mais Preciso Obtido	148
7.4	Transformação do Modelo	151
7.5	Considerações Finais Sobre o Modelo.....	153
8	APLICAÇÃO DO MODELO CALIBRADO	155
8.1	Aplicação Geral do Modelo Desenvolvido	155
8.2	Aplicação Simulada: Alteração da Divisão Modal e Ocupação Média do Transporte Coletivo	156
8.2.1	Aumento da Ocupação Média Veicular (Automóvel)	158
8.2.2	Aumento da Ocupação Média Veicular (Ônibus).....	159
8.2.3	Aumento da Ocupação Média das Motos	160
8.2.4	Alteração Conjunta da Ocupação Média Veicular.....	161
8.2.5	Discussão Geral das Simulações Realizadas	161
8.3	Aplicação do Modelo: Cenários de Planejamento (PlanMobBH).....	162
9	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	167
9.1	Principais Constatações.....	167

9.2	Conclusões Específicas.....	171
9.3	Originalidade da Tese.....	171
9.4	Recomendações para Trabalhos Futuros.....	172
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
	ANEXOS: APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS POR PONTO.....	184
	ANEXOS: FORMULÁRIOS DE PESQUISA.....	261

Lista de Figuras

Figura 1-1 – Hipóteses a serem verificadas com o presente trabalho	10
Figura 2-1 – Curvas de compensação da escala decibel (Fonte: LELAND & RICHARDS, 1998).....	17
Figura 2-2 – Exemplo de configuração urbana modelada pelo software CadnaA	43
Figura 3-1 – Posicionamento do Medidor de Nível de Pressão Sonora	58
Figura 3-2 – Ilustração do <i>software</i> do equipamento utilizado e de um gráfico gerado pelo mesmo.....	59
Figura 3-3 – Esquema de medição do tempo de formação de filas.....	63
Figura 3-4 – Relação entre volume (V em número de veículos) e densidade de fluxo (d em número de veículos por unidade de comprimento).....	67
Figura 3-5 – Relação entre velocidade (v em km/h) e densidade de fluxo (d e número de veículos por unidade de comprimento)	68
Figura 3-6 – Organograma dos procedimentos utilizados para calibrar o modelo.....	70
Figura 3-7 – Ilustração de uma das saídas de dados do software SPSS	74
Figura 4-1 – Expansão da cidade de Belo Horizonte ao longo dos anos.....	78
Figura 4-2 – Parte do sistema viário da cidade de Belo Horizonte e vias utilizadas na coleta de dados	79
Figura 4-3 – Linha Verde: Ponto adicional de medição.....	80
Figura 4-4 – Pontos de medição nas avenidas selecionadas.....	81
Figura 4-5 – Pontos de medição nas avenidas selecionadas.....	82
Figura 4-6 – Ponto 1: Av. Presidente Antônio Carlos.....	82
Figura 4-7 – Ponto 2: Av. Presidente Antônio Carlos.....	83
Figura 4-8 – Ponto 1: Av. Amazonas	83
Figura 4-9 – Ponto 2: Av. Amazonas	84
Figura 4-10 – Ponto 1: Av. Dom Pedro II	84
Figura 4-11 – Ponto 2: Av. Dom Pedro II	85
Figura 4-12 – Ponto 3: Av. Dom Pedro II	85
Figura 4-13 – Ponto 1: Av. Silviano Brandão	86
Figura 4-14 – Ponto 2: Av. Silviano Brandão	86
Figura 4-15 – Ponto único: Av. Sebastião de Brito (MG050).....	87
Figura 4-16 – Ponto único: Linha Verde (MG050).....	87
Figura 4-17 – Ponto Expresso Tiradentes (MG050)	88

Figura 4-18 – Ponto Eixo Ambiental durante as medições (Bogotá, Colômbia)	90
Figura 4-19 – Imagem do elevador monitorado (Av. Cristiano Machado)	91
Figura 4-20 – Imagem do medidor de nível de pressão sonora utilizado.....	91
Figura 4-21 – Ilustração do radar utilizado para medir velocidade média do fluxo.....	92
Figura 5-1– Variação do Leq.....	93
Figura 5-2 – Variação do fluxo de veículos	94
Figura 5-3 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos.....	95
Figura 5-4 – Variação da ocupação média dos automóveis	96
Figura 5-5 – Resumo da variação da ocupação média dos automóveis	96
Figura 5-6 – Variação da ocupação média dos ônibus	97
Figura 5-7 – Resumo da variação da ocupação média dos ônibus	97
Figura 5-8 – Variação da ocupação média das motos	98
Figura 5-9 – Resumo da variação da ocupação média das motos	98
Figura 6-1 – Ruído x Capacidade Total do Sistema.....	102
Figura 6-2 – Ruído x Total de Pessoas Transportadas	103
Figura 6-3 – Capacidade do Sistema x Total de Pessoas Transportadas.....	104
Figura 6-4 – Capacidade do Sistema de Transporte Coletivo x Total de Pessoas Transportadas por este modo.....	105
Figura 6-5 – Capacidade Total de Autos x Total de Pessoas Transportadas por este modo.....	106
Figura 6-6 – Variação da capacidade ao longo do dia (autos e ônibus) – Centro >> Bairro.....	107
Figura 6-7 – Variação da capacidade ao longo do dia (autos e ônibus) – Bairro >> Centro	107
Figura 6-8 – Variação da relação entre demanda e capacidade do sistema.....	108
Figura 6-9 – número médio (corredor) de pessoas transportadas ao longo do período de medição.....	109
Figura 6-10 – Variação da relação entre demanda e capacidade do sistema de transporte coletivo	109
Figura 6-11 – Ruído x Percentual de uso do automóvel	111
Figura 6-12 – Ruído x Percentual de uso do ônibus.....	111
Figura 6-13 – Variação média da divisão modal ao longo dos períodos de pesquisa..	112
Figura 6-14 – Divisão modal geral identificada para os modos rodoviários pesquisados	113

Figura 6-15 – Repartição percentual média dos veículos em circulação pesquisados .	113
Figura 6-16 – Variação da velocidade média em função do número de veículos (fluxo)	114
Figura 6-17 – Linhas de tendência (ábaco) para diminuição da velocidade em função do fluxo veicular	115
Figura 6-18 – Variação da velocidade média em função do grau de saturação (considerando filas)	116
Figura 6-19 – Variação do ruído em função do aumento do número de veículos (logaritmo neperiano)	117
Figura 6-20 – Variação do ruído em função do aumento do número de veículos (logaritmo neperiano)	118
Figura 6-21 – Variação do ruído em função do grau de saturação (GS)	118
Figura 6-22 – Variação do ruído em função do grau de saturação x fluxo	119
Figura 6-23 – Variação do ruído em função do grau de saturação médio (Ponto Av. Amazonas 1)	121
Figura 6-24 – Variação do ruído em função do grau de saturação médio (Ponto Av. Amazonas 2)	121
Figura 6-25 – Variação do ruído em função do grau de saturação médio (Ponto Av. Pedro II 1)	122
Figura 6-26 – Variação do ruído em função do grau de saturação (todos os pontos)	124
Figura 6-27 – Variação dos níveis de ruído ao longo das 24 horas de medição	126
Figura 6-28 – Variação do nível sonoro equivalente (Leq) ao longo das 24 horas de medição	126
Figura 6-29 – Fotografias tiradas durante as 24h de medição (com informação de Leq)	127
Figura 6-30 – Variação da produção de ruído per capita ao longo do dia	129
Figura 6-31 – L90 Médio por ponto pesquisado	130
Figura 7-1 - Variáveis testadas inicialmente no software SPSS	135
Figura 7-2 – Ilustração dos dados inseridos no software SPSS	140
Figura 7-3 – Curva de precisão do modelo calibrado (frequência de ocorrência)	151
Figura 7-4 – Ilustração da planilha de Excel programada com o modelo calibrado	153
Figura 8-1 – Dados reais, preditos e linha de tendência para a aplicação do modelo calibrado	156
Figura 8-2 – Variação de ruído verificada em função das horas do dia	159

Figura 8-3 – Variação de ruído verificada em função das horas do dia para este cenário	160
Figura 8-4 – Variação de ruído verificada em função das horas do dia para este cenário	161
Figura 8-5 – Variação de ruído (Leq) nos diversos cenários avaliados.....	165
Figura 8-6 – Percentuais de incremento de pressão sonora nos diversos cenários avaliados	165

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 – Relação entre Pressão sonora, Intensidade e Nível Sonoro.....	16
Tabela 2-2 – Limites de tempo de exposição diária a ruído: Portaria 3214 (CLT, 1978)	19
Tabela 2-3 – Nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A). (Fonte: NBR 10151 (ABNT, 2000))	23
Tabela 2-4 – Resumo de limites estabelecidos pela Lei número 9505/08.....	24
Tabela 2-5 – Limites de nível de ruído estabelecidos pela Resolução CONAMA número 252 (Fonte: Resolução CONAMA número 252, 1999).....	25
Tabela 2-6 – Frequências naturais de partes do corpo humano. (Fonte: Gerges, 1992)	35
Tabela 6-1 – Resultados dos testes de correlação para o ponto Av. Amazonas número 1	122
Tabela 6-2 – Resultados dos testes de correlação para o ponto Av. Amazonas número 2	123
Tabela 6-3 – Resultados dos testes de correlação para o ponto Av. Pedro II número 1	123
Tabela 6-4 – Resultados dos testes de correlação para todos os dados (pontos).....	125
Tabela 6-5 – Resultados de L90 para os pontos de medição.....	130
Tabela 6-6 – Características funcionais de classificação viária (FONTE: CET - SP (1982). Boletim técnico nº. 31)	131
Tabela 7-1 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 1	142
Tabela 7-2 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 1	143
Tabela 7-3 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 2	143
Tabela 7-4 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 2	144
Tabela 7-5 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 3	144
Tabela 7-6 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 3	145
Tabela 7-7 – Resultado do teste de tendência: relação entre ruído e velocidade média	145
Tabela 7-8 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 4	146
Tabela 7-9 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 5	146
Tabela 7-10 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 5	147
Tabela 7-11 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 6	147
Tabela 7-12 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 6	147
Tabela 7-13 – Resultados resumo para o Modelo 6	149

Tabela 7-14 – Resumo de dados estatísticos para o modelo calibrado	150
Tabela 7-15 – Resultados de estatística descritiva para o Modelo 6	150
Tabela 8-1 Resumos dos erros obtidos com a aplicação do modelo	155
Tabela 8-2 – Aplicação do modelo desenvolvido junto aos dados do PlanmobBH.....	163
Tabela 8-3 Dados utilizados junto aos cenários do PlanMobBH	164

1 Introdução

Neste capítulo é abordado o tema do trabalho no contexto atual a partir de discussões gerais sobre questões que são relevantes ao tema de ruído de tráfego, em especial o aumento da frota de veículos nos centros urbanos, bem como a respeito das diferentes potências sonoras dos principais modos de transportes em centros urbanos brasileiros. Este capítulo apresenta também os objetivos, os motivos que justificam o tema abordado, as contribuições inovadoras da tese e ainda explica como a mesma está organizada.

1.1 Considerações Iniciais

A preocupação com os impactos ambientais das atividades antrópicas tem sido cada vez maior por todo mundo. No que diz respeito a centros urbanos, o tráfego de veículos é um potente contribuinte para três tipos específicos de poluição, a saber, atmosférica, sonora e visual. Além dos referidos impactos, os veículos automotores trazem consigo uma série de efeitos negativos para as cidades, tais como, acidentes de trânsito, alto consumo de energia não renovável, desumanização em virtude das grandes áreas destinadas às vias e estacionamentos, baixa eficiência econômica devido à necessidade de grandes investimentos no sistema viário e ao espalhamento das cidades, entre outros (RODRIGUES, 2006).

Paralelamente ao crescimento demográfico nas cidades, houve um aumento significativo da frota de veículos. Porém este aumento do número de automóveis não ocorreu linearmente com o crescimento da população. Em 1950, por exemplo, a população mundial estava em torno de 2,6 bilhões de habitantes com uma frota de cerca de 50 milhões de automóveis. Em 1988 a população mundial já estava em torno de 5,5 bilhões de habitantes, com uma frota de 500 milhões de veículos. Ou seja, enquanto a população mundial praticamente dobrou, o número de veículos foi multiplicado por dez (SILVA & GOLDNER, 1998).

Dando continuidade a este processo, o que se verifica atualmente, através dos meios de comunicação, é que, especificamente no Brasil, a frota tem aumentado muito nos últimos anos graças à melhoria no poder aquisitivo da população, da facilidade de obtenção de crédito, barateamento dos veículos, bem como devido ao aquecimento da economia do país.

Mesmo que em 2008 e 2009 o mundo tenha vivido uma crise econômica histórica, é possível, em uma avaliação qualitativa, inferir que as medidas tomadas pelo governo brasileiro permitiram a manutenção do crescimento da frota de veículos com medidas, por exemplo, de redução de IPI, etc.

Apesar do volume de veículos em circulação nas vias não aumentar linearmente com o crescimento da frota, o exagerado número de veículos particulares, de transporte público e de transporte de cargas nas vias, e com tendências de crescimento constante, gera rotineiramente congestionamentos nas vias que compõem o sistema viário das médias e grandes cidades. Dados dos contadores de tráfego junto aos radares fixos da cidade de Belo Horizonte mostram um crescimento médio entre 2004 e 2010 de 4.8% ao ano na cidade (BHTrans, 2010).

Corroborando as afirmações feitas referentes a impactos ambientais da circulação de veículos em centros urbanos, segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (1992), o tráfego veicular provoca, além de congestionamentos, dois grandes inconvenientes: são eles a descarga de poluentes na atmosfera sob a forma, principalmente, de monóxido de carbono (CO) e dióxido de carbono (CO₂) e ainda o ruído, que está estritamente relacionado com os tipos e fluxos dos veículos automotores que trafegam pela cidade, bem como uma série de outras variáveis independentes como, por exemplo, o tipo de pavimento.

Segundo Querrien (1995), o ruído é uma das principais patologias que as cidades do mundo atual possuem. Neste contexto, a parcela proveniente do tráfego veicular é a mais significativa em centros urbanos.

A definição de ruído é um tanto que complexa e preliminarmente deve-se compreender a definição de som, visto que todo ruído é um tipo de som. A NB-101 (ABNT, 1963) o define como *“forma de energia proveniente de um corpo emitindo, em uma ou todas as direções, certos movimentos vibratórios que se propagam em meios elásticos e que se podem ouvir”*. A Norma Brasileira TB-143 (ABNT, 1973) refere-se ao o som como *“toda e qualquer vibração mecânica em um meio elástico na faixa de audiodfrequência”*. Kinsler *et al.* (1982) definem o som como sendo *“ondas acústicas capazes de produzir sensações no ouvido humano através de variações de pressão propagando em um fluido compressível”*. Halliday e Resnick (1984) descrevem o som como sendo *“ondas longitudinais que se propagam através de pequenas oscilações das partículas que constituem um meio qualquer”*. Já na definição feita por Gerges (1992),

“o som são flutuações de pressão em um meio compressível qualquer, e transmitido pela colisão sucessiva das moléculas”.

Já a definição de ruído pode ser compreendida como a *“emissão de ondas sonoras do tipo aperiódicas de várias frequências distintas simultaneamente”* (KINSLER *et al.*, 1982). Outra definição é que o ruído é *“um som de grande complexibilidade, resultante da superposição desarmônica de sons provenientes de várias fontes”* (FERNANDES, 2002). No entanto, ruído pode ainda ser definido como qualquer som desagradável. Esta última definição torna este parâmetro extremamente relativo e abstrato, visto que o é um som desagradável para alguns, pode não ser para outros.

Corroborando esta definição, a recente Lei número 9.505 (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, 2008) define o ruído como *“sons indesejáveis capazes de causar incômodo”*, o que permite concluir que os sons produzidos pelo tráfego de veículos podem ser caracterizados como tal.

O ruído de tráfego é classificado como ruído ambiental que consiste em uma forma de energia pouco concentrada quando comparada quantitativamente com outras formas de energia. No que diz respeito ao ruído em cidades, este é *“oriundo de transformações energéticas inerentes às atividades de consolidação e evolução do ecossistema urbano, cujo processo de desenvolvimento e apropriação do espaço físico nas cidades conduziu a uma urbanização de proporções e impactos até então vivenciados pelos agrupamentos humanos desde a revolução industrial”* (CHOAY, 1979).

A preocupação com o ruído de tráfego nas cidades tem aumentado a cada dia. Em uma pesquisa realizada por Burgess (1996) constatou-se, através de estatísticas realizadas sobre as publicações dos 25 anos anteriores, apresentadas nas conferências do congresso internacional sobre ruído (INTERNOISE), que os artigos nesta área já estavam em torno de 10% do total publicado sobre os diversos temas da acústica e ainda com tendências de crescimento.

As preocupações com o ruído de tráfego estão ligadas diretamente à significativa parcela deste na composição total do ruído nas cidades. Diversas pesquisas realizadas por todo mundo, com objetivo de mensuração dos níveis de ruído oriundos do tráfego veicular mostram que, de forma geral, os valores encontrados estão sempre acima do que é indicado ou recomendado pelas legislações e normas técnicas específicas (ALBA *et al.*, 2003; ALI, 2004; ALI & TAMURA, 2003; ÁLVARES & SOUZA, 1992;

BORTOLI, 2002; LI *et al.*, 2002a; MORILLAS, 2002; TYAGI *et al.*, 2006, entre outros).

Conforme já mencionado, a principal parcela do ruído presente nos centros urbanos é oriunda do tráfego veicular. Estudos realizados sobre o tema mostram que na composição do tráfego, os veículos pesados (ônibus e caminhões) são as fontes sonoras mais potentes (VALADARES, 1997). Neste contexto, cada carro de passeio (veículo leve) é uma fonte de ruído de cerca de 70-75 dB (A) a uma distância de 7 metros, enquanto um veículo pesado atinge 80-85 dB (A) (PIMENTEL-SOUZA, 2000; GÜNDOĞDU *et al.*, 2005).

Recentemente, em uma pesquisa realizada por Can *et al.* (2008) foi mostrada que a relação de potência sonora entre veículos pesados e leves é igual a 9,12. Isto é, um veículo pesado é capaz de produzir 9,12 vezes mais ruído do que um veículo leve, levando em consideração o comportamento logarítmico da escala decibel. Isto corresponde à dobrar a sensação de altura do ruído pelo ouvido humano.

Em uma avaliação preliminar destes números é possível, equivocadamente, concluir que os veículos pesados são os principais responsáveis pelos significativos níveis de ruído encontrados nos centros urbanos. Esta premissa não é necessariamente verdadeira em função dos percentuais de cada um destes tipos de veículo na composição total da frota em circulação, isto é, a divisão modal. Em outras palavras, apesar da potência sonora dos veículos pesados (individualmente) ser expressivamente maior do que as dos veículos leves, sua participação no total de veículos em circulação é relativamente pequena. De forma geral, pode-se dizer que 85% dos veículos em circulação nas cidades brasileiras são carros de passeio, sendo que os 15% restantes estão divididos entre motocicletas, ônibus, caminhões e outros (RODRIGUES *et al.*, 2007b). Assim, apesar dos veículos pesados serem mais ruidosos (conforme quantitativamente apresentado em itens posteriores), estes estão em menor proporção e, portanto, não necessariamente são os principais responsáveis pelos altos níveis de ruído presentes.

Ao se fazer uma avaliação do ruído gerado por cada um destes modos, correlacionando com o total de pessoas transportadas pelos mesmos, chega-se a uma produção de ruído per capita inversa, no que diz respeito a modos de transporte mais ruidosos. Isto é, o automóvel (menor potência sonora) emite mais ruído per capita do que os ônibus (maior potência sonora).

Ao se considerar as ocupações médias dos ônibus e automóveis na hora de pico dos centros urbanos como sendo, respectivamente, 70 e 1,5 passageiros, verifica-se que a produção per – capita¹ dos ônibus é da ordem de 65 dB, enquanto para os automóveis este valor atinge cerca de 73 dB (RODRIGUES *et al.*, 2008b). Salienta-se que não foi encontrada nenhuma outra publicação que fizesse análise similar, para que pudesse se ter outra base de citação.

De qualquer forma, essa comparação deve ser tomada apenas a título preliminar, visto que existe uma série de outras variáveis que devem ser consideradas no referido sistema. No entanto, os valores obtidos podem sim ser tomados como ordem de grandeza no que diz respeito a níveis de ruído per capita nos principais modos de transporte em centros urbanos no Brasil.

A partir das afirmações e conclusões realizadas até o presente momento, cabe uma pergunta: *“Seria possível então diminuir os níveis de ruído presentes em centros urbanos, em específico, os brasileiros, a partir de alterações na divisão modal do transporte de passageiros, basicamente entre os automóveis² e os ônibus, tanto em vias de fluxo misto como em corredores exclusivos?”* Baseado na referida indagação, norteia-se este documento, conforme melhor será compreendido nos itens seguintes.

1.2 Objetivo

O objetivo desta tese é desenvolver uma metodologia, fundamentada na calibração de um modelo de predição de ruído, e aplicá-la para identificar quais seriam os impactos que alterações na atual configuração da operacionalidade dos sistemas de transporte (demanda e oferta, utilização da capacidade viária, etc), bem como da divisão modal do transporte de passageiros em centros urbanos, provocariam nos níveis de ruído emitidos, focados, a priori na transferência de usuários dos modos individuais para o coletivo, partindo da hipótese de que isto alterará o volume de veículos em circulação e, conseqüentemente, a operação do tráfego.

Uma vez contemplado este objetivo será possível avaliar gradativamente os efeitos de alterações na operação dos sistemas de transporte nos níveis sonoros e, desta

¹ Considerando potência Sonora média de veículos leve igual a 75 dB(A) e de veículos pesados igual a 85 dB(A).

² Primordialmente avaliar-se-á os impactos da transferência modal entre automóveis e ônibus somente, mas também será analisado a influência das motocicletas.

forma, responder às perguntas básicas que nortearam o presente trabalho, conforme listadas a seguir e respondidas posteriormente ao longo do documento:

- Quais são os impactos nos níveis sonoros em centros urbanos caso sejam contempladas as premissas mundiais de gerenciamento da mobilidade de transferência modal para meios de transporte coletivo?
- É possível diminuir os níveis sonoros nas cidades se mais pessoas utilizassem ônibus ou algum outro modo coletivo?
- A variação de ruído seria significativa?
- Qual a ordem de grandeza de variação dos níveis sonoros para transportar a mesma quantidade de usuários em diferentes configurações de divisão modal?
- Como é a variação da geração de ruído per capita ao longo do dia?
- Sistemas de transporte como o TransMilenio de Bogotá podem contribuir para diminuir os níveis de ruído?
- É possível ter uma capacidade significativamente maior, de transporte de passageiros em centros urbanos, sem ter um aumento proporcional do nível de ruído gerado?
- Aonde devem focar os investimentos em pesquisas para minimização do ruído de tráfego urbano?

Além destas, uma série de outras questões puderam ser respondidas com os resultados das análises propostas, bem como da aplicação do modelo calibrado (explicado em seguida), sendo mostradas e discutidas ao longo da continuidade deste trabalho.

1.3 Justificativa do Tema e Explicações do Objetivo Proposto

RODRIGUES *et al.* (2008b) mostrou, de maneira simplificada, que existe uma tendência de queda nos níveis de ruído, mesmo aumentando a proporção de ônibus no fluxo. No entanto, a metodologia utilizada foi pouco precisa para realizar esta investigação, de forma que é cedo para inferir a veracidade generalizada desta conclusão.

Logo, no escopo do presente trabalho existe a hipótese, que pode vir a ser verificada, que mesmo com significativas alterações na divisão modal do transporte de passageiros nas cidades (transferindo usuários dos automóveis para os ônibus), a diminuição nos índices de ruído de tráfego é mínima. Isto pode ocorrer em função da

característica logarítmica da escala decibel, que pode ser pouco sensível às mudanças da quantidade de veículos em circulação, ainda mais considerando o aumento da quantidade de veículos pesados.

De qualquer forma, esta hipótese foi verificada para que a pergunta que norteia esta pesquisa pudesse ser respondida e tomada como base para quaisquer intervenções que venham a ser feitas e impliquem em alterar a composição usual dos veículos em circulação nas cidades, no que diz respeito a impactos ambientais, especificamente o ruído de tráfego.

Pretende-se, portanto, fornecer à acadêmicos e planejadores urbanos respostas com relação à potencialidade de se minimizar a geração de ruído nos centros urbanos, proveniente de ações bem sucedidas do gerenciamento da mobilidade.

Por último, concluindo a explanação dos objetivos desta tese, foram ainda contempladas neste documento as seguintes metas específicas:

- Quantificar os níveis de ruído usuais em corredores de grandes fluxos de tráfego de um centro urbano (L_{Aeq} , Níveis Percentis, máximos e mínimos³);
- Desenvolver um **modelo de predição de ruído de tráfego** para corredores urbanos (L_{Aeq}), capaz de prever também valores para fora do horário de pico;
- Alterar as variáveis tradicionais de modelos de predição de ruído a fim de se obter um modelo de predição de ruído em função da divisão modal do transporte de passageiros para uso a partir do número de deslocamento de pessoas em um centro urbano;
- Aplicar o modelo com simulações hipotéticas com base nos resultados obtidos ao longo do trabalho no que se refere às características operacionais do sistema de transporte, em específico a partir da relação entre oferta e demanda (de lugares) existente;
- Aplicar o modelo a dados reais do Plano de mobilidade de Belo Horizonte, que foi desenvolvido em paralelo ao término desta tese.

Corroborando a escolha do tema desta tese, bem como justificando a importância da abordagem, publicações de dez anos atrás já inferiam que, de acordo com a Organização Mundial de Saúde, a poluição sonora nos dias de hoje é tão importante quanto à poluição atmosférica e da água (NIEMEYER & SLAMA, 1998).

³ Todos estes parâmetros serão definidos e explanados no capítulo específico de conceitos acústicos.

Neste contexto, o ruído tem os mais diversos tipos de efeitos negativos no homem e essas conclusões não são tão recentes. Estudos mostram que o primeiro deles é a perda de audição temporária ou permanente, pois, a exposição a altos níveis de ruído danifica as células da cóclea (GERGES, 1992). Tem-se para a faixa de 55 a 75 dB (A) o desconforto auditivo, enquanto que a partir de 75 dB (A) pode ocorrer algum tipo de lesão auditiva. Já para níveis de pressão sonora entre 110 e 130 dB (A) os danos à audição podem ser irreversíveis (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

No entanto, outras patologias nos seres humanos referentes ao ruído são extra-auditivas de ordem psicofísica. A partir de 60 dB (A) podem ocorrer alterações no batimento cardíaco, e aumento da pressão arterial. Outros efeitos negativos podem ser sentidos ainda pelo aparelho digestivo e ainda pelo sistema endócrino (GERGES, 1992).

Segundo Gerges (1992), vibrações em baixas frequências da ordem de 1 a 80 Hz são as mais prejudiciais ao corpo humano, e especificamente na faixa de 4 a 8 Hz, pois estas estimulam as frequências naturais dos órgãos, o que por sua vez também pode trazer algum tipo de complicação. Além disso, o ruído pode causar ansiedade, estresse emocional, dores de cabeça, neuroses, psicoses, histeria, baixo desempenho de tarefas, diminuição na capacidade de concentração, disfunções sexuais, perturbações no sono, irritabilidade, entre outras (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

Ainda referente a impactos do ruído no ser humano, um estudo realizado por Pimentel-Souza (2000) mostrou que o ruído também afeta de maneira negativa o sono, e isto implica em perda de eficiência nos afazeres do dia-a-dia. Segundo Maia (2003), a exposição freqüente a níveis de ruído acima de 80 dB (A) afetam profundamente a saúde, e os efeitos podem ser cumulativos, variando com o tempo de exposição.

Além dessas citações, existe uma série de pesquisas e matérias sobre o tema, tanto no meio acadêmico, quanto na mídia de forma geral. Por último, para concluir a relevância do ruído na saúde do ser humano, vale a pena citar a recente pesquisa realizada pelo órgão *Transportation & Environment* (DEN BOER & SCHROTEN, 2008), melhor detalhada posteriormente. Neste estudo foram detalhadamente pesquisados e descritos os efeitos do ruído na saúde humana, os custos sociais e ainda políticas e técnicas para minimizar os níveis de ruído de tráfego nos modos rodoviário e ferroviário.

As conclusões mais alarmantes do referido estudo é que cerca de 50.000 ataques fulminantes do coração ocorrem todo ano na Europa causados, principalmente, por

ruído de tráfego, sendo que ainda vários outros efeitos na saúde são apresentados no trabalho.

Além do embasamento da escolha do tema, no que diz respeito à insalubridade em função do ruído de tráfego urbano, o presente trabalho ainda é subsidiado pela relevância em se saber os potenciais impactos, sejam eles positivos ou não, de possíveis alterações da divisão modal em centros urbanos, visto que isso é uma das premissas básicas de planejamento de transportes no mundo inteiro.

Isto é, grande parte dos esforços dos planejadores e gestores de transporte consiste em tornar o transporte coletivo mais atraente e conseqüentemente, cada vez mais utilizado pela população nas cidades. Em muitos países, o modo de transporte coletivo mais utilizado é o ônibus, como no Brasil, por exemplo. Desta forma torna-se relevante saber quais serão os impactos ambientais, especificamente nos níveis sonoros, à medida que se consiga atingir este objetivo. Mais especificamente, é importante saber quantitativamente o que pode ocorrer com os níveis de ruído de tráfego em função de gradativas alterações na divisão modal do transporte de passageiros.

Para facilitar a visualização do que foi dito, a Figura 1-1 apresenta as possíveis conclusões factíveis de se chegar ao final do presente trabalho:

- Hipótese 1: Só existe alteração nos níveis de ruído para significativas alterações de divisão modal, com maior utilização de ônibus;
- Hipótese 2: A alteração na divisão modal já é percebida para pequenas alterações, com maior utilização de ônibus;
- Hipótese 3: Mesmo com alterações da divisão modal, não há diminuição dos níveis de ruído (ou diminuição mínima), podendo inclusive haver aumento em determinadas composições da classificação veicular presente.

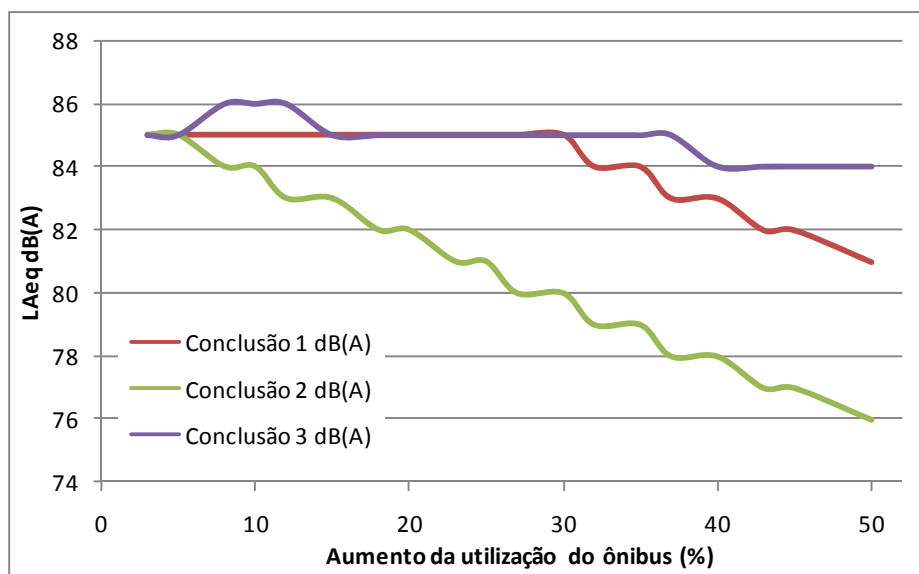


Figura 1-1 – Hipóteses a serem verificadas com o presente trabalho

Por último, o presente trabalho se faz relevante em função da pouca quantidade de estudos referentes à avaliação de ruído como impacto ambiental de sistemas de transporte, quando comparadas à quantidade de pesquisas referentes à poluição atmosférica e emissão de gases no setor de transporte (conforme será mostrado em capítulo posterior). Diferentemente da poluição do ar, o ruído foi ignorado durante muito tempo, o que contribuiu para agravar o problema perante a sociedade (DEN BOER & SCHROTEN, 2008).

1.4 Aplicação Prática dos Produtos desta Tese

Oportunamente, foi desenvolvido paralelamente a este trabalho o Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte (PlanMobBH), sobre responsabilidade do órgão gestor municipal de trânsito, a BHTrans.

Em linhas gerais, o trabalho buscou simular diversas configurações futuras de alterações e investimentos no sistema viário e de transporte para averiguar quais seriam os impactos na divisão modal do transporte de passageiros na cidade e quais seriam os impactos disto na operação do tráfego urbano, avaliando diversos indicadores de desempenho (LOGIT Engenharia Consultiva Ltda, 2010).

No entanto, a abordagem sobre ruído no trabalho estava sendo feita de forma superficial devido à ausência de uma metodologia específica que pudesse simular os

diferentes cenários avaliados de divisão modal no que se referia à geração de ruído de tráfego.

Desta forma, em uma parceria formada com a BHTrans, este órgão propôs-se a fornecer as configurações de divisão modal encontradas nos diversos cenários simulados para que fossem feitas as devidas avaliações de ruído, em troca do fornecimento destes resultados para composição do documento final do PlanMobBH.

1.5 Originalidade Constante na Tese

No que diz respeito às contribuições científicas da presente tese, verifica-se que poucos trabalhos (conforme será visto no capítulo seguinte) de pesquisa são voltados para identificar os impactos nos níveis de ruído em função de resultados bem sucedidos de ações de gerenciamento da mobilidade. Quando algum trabalho avalia procedimentos para minimizar o ruído, estes são quase sempre relacionados à melhoria da qualidade dos motores, pavimentos e pneus, alteração nas legislações, controle de velocidade, etc. (DEN BOER & SCHROTEN, 2008), não tendo sido encontrado, até então, algum trabalho que avalie os impactos na poluição sonora através de alterações na divisão modal, bem como das operações do tráfego urbano, no que diz respeito à relação entre volume e capacidade.

Acredita-se que este cenário é explicado pelo fato de que o maior número de pesquisadores de acústica, que lidam com ruído ambiental, são da área de Engenharia Mecânica⁴, enquanto a área de gerenciamento da mobilidade é mais específica dos pesquisadores da área de Engenharia de Transportes.

Neste contexto, conforme será mostrado em itens posteriores, a atenção dada a impactos ambientais de sistema de transportes é, em sua maioria, à emissão de gases e consumo de energia sendo que, em muitas das vezes, a poluição sonora recebe menor ou nenhuma importância. Todavia será visto ainda no presente trabalho o quão relevante é este tema, e como o mesmo pode influenciar significativamente a qualidade de vida das pessoas.

Assim, a contribuição deste trabalho com o ineditismo pode ser segregado em cinco partes. A primeira refere-se ao objetivo principal da tese. Isto é, conforme poderá ser visto na revisão bibliográfica (capítulo seguinte) do presente documento, muito pouco foi encontrado sobre avaliação dos possíveis impactos, positivos ou negativos,

⁴ Desconsiderando pesquisas referentes a fisiologia do ouvido humano, efeito do ruído no homem, etc.

nos níveis de ruído em função de alterações na configuração operacional dos sistemas de transporte, em termos de demanda e capacidade, bem como em função de alterações da divisão modal do transporte de passageiros nos centros urbanos.

A segunda contribuição consiste na avaliação da questão operacional dos sistemas de transporte de uma forma mais específica, avaliando um parâmetro tradicional de engenharia de tráfego, o **grau de saturação (GS)** de uma via, como influenciador (variável independente) dos níveis de ruído de tráfego. Acredita-se que este parâmetro pode ter uma relação direta com os níveis de ruído, uma vez que o mesmo pode representar comportamentos do tráfego que interferem na emissão sonora, tais como: formação de fila, velocidade de pelotão, número de paradas, pequenas acelerações (elevado GS), etc.

A terceira contribuição consiste na coleta de dados (melhor explanado no item de metodologia) para calibração do modelo de predição de ruído de tráfego. Acredita-se que, até então, não foram utilizados dados de vias com restrição a determinado modo de transporte. Isto é, realizou-se nesta pesquisa medições de ruído em locais onde, por exemplo, só é permitido o tráfego de pedestres e ônibus. Esse procedimento contribuirá para desenvolver um modelo que tenha maior abrangência no que se refere à percepção das variações dos níveis de ruído em função de diferentes composições de tráfego urbano.

A quarta contribuição refere-se à calibração de um modelo que contemple horários de pico e entre pico. O que se verifica, de forma geral, na literatura (apresentados no capítulo seguinte) são modelos com um alto valor absoluto para a constante numérica, o que inviabiliza a utilização do mesmo em situações de baixo ruído.

Por último, mas não menos importante, pretende-se ainda calibrar/ajustar um tipo de modelo para predição de ruído de tráfego, até então não encontrado nas bibliografias específicas, em função da divisão modal do transporte de passageiros em centros urbanos. Isto é, calibrar-se-á um modelo para prever os níveis de ruído gerados em função da quantidade de pessoas transportadas por cada um dos modos que passa em uma determinada seção de via (não necessariamente veículos). A partir deste modelo será possível mensurar os níveis de ruído gerados para transportar qualquer montante de passageiros em qualquer distribuição modal.

Basicamente, o modelo fundamentar-se-á na quantidade de passageiros transportados pelos modos e os níveis de ruído emitidos, enquanto os modelos presentes nas bibliografias especializadas o fazem em função do volume veicular.

Pode-se inferir que este modelo pode colaborar em estudos para planejamento urbano no que se refere a mensurar impactos ambientais de distintas configurações de divisão modal do transporte de passageiros, especificamente o ruído, corroborado pela aplicação prática imediata que será feita junto aos dados do PlanMobBH.

1.6 Estruturação do Documento

Além do presente capítulo, que realiza a contextualização do tema, bem como explana os objetivos, justificativas e inovações do mesmo, este documento ainda reúne mais sete capítulos.

O capítulo 2 realiza uma revisão bibliográfica sobre os conceitos fundamentais de acústica e ruído de tráfego que serão utilizados, bem como apresenta a abordagem que tem sido dada ao temas de: Impactos Ambientais de Sistemas de Transporte – Ruído de Tráfego, Poluição Atmosférica, Consumo de Energia; e Impactos, Parâmetros e Indicadores Avaliados em Estudos de Alteração da Divisão Modal do Transporte de Passageiros em Centros Urbanos. Ou seja, este capítulo realizará uma vasta revisão bibliográfica sobre todas as subdivisões do tema Impactos Ambientais de Sistemas de Transporte e Ruído de Tráfego, em periódicos e publicações de diversas áreas e ainda apresentará o enfoque que é dado, no que diz respeito a pesquisas, para Impactos de Alterações da Divisão Modal. Logo, ter-se-ão subsídios necessários para contemplar o objetivo proposto, a partir das experiências já vivenciadas por outros autores.

O capítulo 3 refere-se à explanação dos procedimentos metodológicos adotados no presente trabalho para atingir os objetivos propostos, contemplando medições de ruído, parâmetros quantificados, desenvolvimento do modelo, pesquisas de tráfego, identificação da ocupação média veicular, procedimentos de modelagem da alteração da divisão modal, análises entre a geração de ruído e as características operacionais dos sistemas de transporte, aplicação do modelo, etc.

O capítulo 4 apresenta a área de estudo, locais de medição, procedimentos específicos, materiais e equipamentos utilizados no trabalho.

O capítulo 5 apresenta os resultados da coleta de dados, bem como faz uma discussão dos mesmos, comentando os resultados obtidos, tanto de ruído quanto de tráfego.

O capítulo 6 promove uma profunda investigação entre a geração de ruído e as características operacionais atuais dos sistemas de transporte, fornecendo subsídios para, juntamente com o modelo, responder questões sobre o que aconteceria com a geração de ruído pelo tráfego urbano caso fossem alteradas algumas configurações dos atuais sistemas.

O capítulo 7 refere-se à calibração do modelo de predição de ruído essencial para as análises propostas no presente trabalho.

O capítulo 8 faz aplicações do modelo calibrado, juntamente com as conclusões expostas no capítulo 6, avaliando os impactos já elencados, sejam eles benéficos ou não.

Por último, o capítulo 9 apresenta as conclusões do trabalho, bem como as recomendações para continuidade desta linha de pesquisa.

2 Fundamentos de Acústica e Ruído de Tráfego

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica com dois objetivos específicos, a saber, (I) contextualizar o tema abordado no que se refere à fundamentos essenciais a serem analisados posteriormente e (II) subsidiar várias tomadas de decisões no que diz respeito ao detalhamento da metodologia a ser aplicada na presente pesquisa.

2.1 Fundamentos de Acústica Aplicados ao Ruído de Tráfego urbano

Segundo Kinsler *et al.* (1982), acústica é a ciência que estuda a geração, transmissão e recepção de energia em forma de ondas vibratórias.

Devido à enorme extensão de intensidade acústica que o ouvido humano consegue distinguir (variações de pressão sonora perceptíveis estendem-se por uma faixa de 1 (um) a 10 (dez) milhões), foi adotada uma escala do tipo logarítmica para representar esta grandeza. A escala logarítmica decibel (dB) representa melhor a percepção das variações de pressão sonora pelo ouvido humano. Dessa maneira define-se o nível de intensidade acústica ou sonora com sendo (GERGES, 1992):

$$I_s = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad 2.1$$

Onde:

- I_s é a intensidade sonora (dB);
- I é a intensidade sonora medida em watts/m²;
- I_0 é a intensidade de referência, 10⁻¹² watts/m².

A intensidade acústica é proporcional ao quadrado da pressão acústica, logo o nível de pressão sonora é dado por (GERGES, 1982):

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \quad 2.2$$

Onde:

- NPS é o Nível de Pressão Sonora (dB);
- P é a Pressão Sonora Medida (Pa);
- P_0 é a Pressão Sonora de Referência, normalmente 20 µPa, correspondente ao limiar da audição humana a 1000 Hz.

Pode ser visto na Tabela 2-1, a relação entre pressão sonora em µPa, intensidade em watts/m² e o nível sonoro na escala logarítmica

em dB, na qual é possível ver claramente que a variação da pressão sonora com o nível sonoro não é linear. Todos os valores são obtidos através da aplicação das equações anteriores.

Tabela 2-1 – Relação entre Pressão sonora, Intensidade e Nível Sonoro

Pressao Sonora (μPa)	Intensidade sonora (10^{-12} watts/ m^2)	Nivel sonoro (dB)
200000000	100.000.000.000.000	140
	10.000.000.000.000	130
20000000	1.000.000.000.000	120
	100.000.000.000	110
2000000	10.000.000.000	100
	1.000.000.000	90
200000	100.000.000	80
	10.000.000	70
20000	1.000.000	60
	100.000	50
2000	10.000	40
	1.000	30
200	100	20
	10	1
20	1	0

Independente da intensidade de som a que esteja exposto, o ouvido humano não tem a mesma sensibilidade para os níveis de pressão sonora no que diz respeito às diferentes frequências de vibração das ondas. O ouvido é menos sensível às baixas frequências, por isso adota-se uma curva balanceada que visa adequar os níveis medidos à sensibilidade do ouvido humano nas diversas frequências. Esta escala é chamada de curva de ponderação “A”. Existem outras escalas (B, C e D), porém são mais específicas e menos utilizadas. A curva do tipo “D”, por exemplo, é utilizada, segundo Gerges (1992), para ruído de aeroporto. São mostradas na Figura 2-1 as curvas de compensação “A”, “B” e “C”:

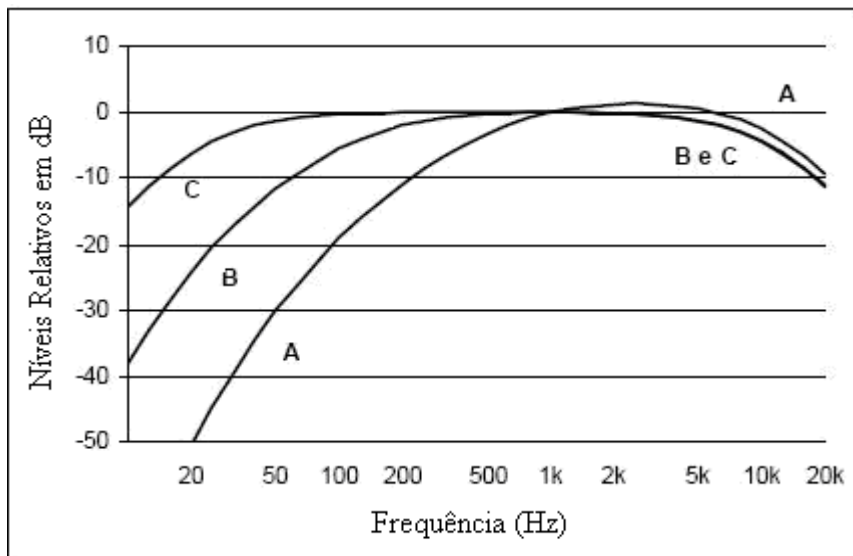


Figura 2-1 – Curvas de compensação da escala decibel (Fonte: LELAND & RICHARDS, 1998)

Uma fonte sonora pode emitir ondas sonoras de diversas frequências ao mesmo tempo, e quando essas ondas são do tipo aperiódicas, chama-se basicamente este som de ruído (KINSLER *et al.*, 1982).

Altos níveis de ruído são comuns em centro urbanos de porte médio e grande. Diversas atividades antrópicas dos dias atuais são potentes fontes geradoras de ruído. Segundo a Prefeitura Municipal de Belo Horizonte (1992), os principais geradores de ruído em uma cidade são: o trânsito de veículos, com o ruído dos motores, buzinas e sirenes; o tráfego aéreo; as obras de construção de edificações, além da abertura e recuperação de vias e outros espaços públicos; as atividades industriais, com ruídos internos e externos, desde as sirenes até o maquinário que utilizam; o comércio e os serviços que funcionam em espaços sem proteção acústica; as máquinas e os equipamentos de maneira geral, usadas nas diversas atividades, inclusive os eletrodomésticos e brinquedos; as academias de ginástica e dança, templos religiosos, dentre outros.

Segundo a NBR 10151 (ABNT, 2000) o ruído pode apresentar-se de diferentes maneiras, podendo então ser classificado da seguinte maneira:

- Ruído contínuo: com variações de nível desprezíveis durante o período de observação;

- Ruído intermitente: cujo nível cai ao valor de fundo várias vezes durante o período de observação, sendo o tempo em que permanece em valor constante, acima do valor de fundo, da ordem de segundos ou mais;
- Ruído de impacto ou impulsivo: quando apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo, por intervalos superiores a um segundo.

O ruído proveniente do espaço urbano é bastante complexo e difícil de ser classificado em apenas uma das três definições descritas acima. Isto porque este pode obter valores constantes durante as medições, como também pode apresentar picos de energia e também cair até o valor do ruído de fundo por várias vezes durante a medição. Porém, de forma geral, o ruído proveniente dos centros urbanos adapta-se melhor à definição de ruído intermitente, apresentando em momentos isolados alguns picos (uma rápida descompressão do sistema de freio a ar de veículos pesados, por exemplo).

Em geral, é difícil encontrar hoje em dia nas cidades de porte médio e grandes, áreas cujos tipos de usos do solo estejam com os níveis de ruído dentro dos limites estabelecidos, conforme é mostrado por diversas pesquisas: Alvares & Souza (1992), Barbosa (1992), Valadares (1997), Bortoli (2002), Maia (2003), Li *et al.* (2002a), Alba *et al.* (2003), Ali (2004), Ali & Tamura. (2003), Morillas (2002), Tyagi *et al.* (2006), entre outros.

Tão importante quanto os níveis de ruído é também o tempo de exposição a que um indivíduo fica exposto. A Tabela 2.5 mostra os tempos máximos recomendados pela Portaria 3214/1978 da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT, 1978) de acordo com o nível de pressão sonora.

Tabela 2-2 – Limites de tempo de exposição diária a ruído: Portaria 3214 (CLT, 1978)

NPS dB (A)	Tempo de Exposição
85	08 horas
86	07 horas
87	06 horas
88	05 horas
89	04h30 horas
90	04 horas
91	03h30 horas
92	03 horas
93	02h30 horas
94	02:15 horas
95	02 horas
96	01:45 horas
98	01:15 horas
100	01 hora
102	45 min.
104	35 min.
105	30 min.
106	25 min.
108	20 min.
110	15 min.
112	10 min.
114	08 min.
115	07 min.

A exposição em diferentes níveis e com diferentes durações é considerada dentro dos limites permitidos da portaria quando o valor da Dose Diária de Ruído (D), calculada pela Equação 2.3, não exceder o valor 1 (GERGES, 1992).

$$D = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} \dots + \frac{C_m}{T_m} \quad 2.3$$

Onde:

- D é a dose diária de ruído;
- Ci é o tempo real de exposição a um específico NPS;
- Ti é o tempo total permitido para aquele NPS.

2.2 Parâmetros Descritores do Ruído de Tráfego

O ruído de tráfego é influenciado por um número muito grande de fatores e deve, portanto, ser tratado estatisticamente. Para isto são utilizados alguns descritores que tentam expressar com maior precisão os níveis de ruído levando em conta suas

variações. A seguir serão demonstrados os parâmetros considerados no presente trabalho para caracterização deste tipo particular de ruído (tráfego).

2.2.1 Nível de Pressão Sonora Equivalente (Leq)

O Nível Sonoro Equivalente (Leq) é usado para descrever o nível de pressão sonora medido durante um determinado intervalo de tempo “T”. É definido como sendo o nível de som contínuo que tenha a mesma energia acústica do som flutuante que está sendo medido num determinado local. O cálculo é feito integrando-se a variação da pressão no tempo, conforme pode ser visto na Equação 2.4 (GERGES, 1992):

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{P^2(t)}{P_0^2} dt \quad 2.4$$

Onde:

- T é o tempo de integração;
- Pt é a pressão acústica instantânea;
- P₀ é a pressão acústica de referência;
- L_{eq} representa o nível contínuo equivalente em dB(A).

Pode-se adotar qualquer tempo para o período de determinação do L_{eq}, sendo este definido em função dos objetivos da medição que está sendo realizada. O Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}) é usualmente utilizado para quantificar níveis de ruído ambiental expressos na curva de ponderação “A”. A NBR 10151 (ABNT, 2000) recomenda o Leq para análises de ruído referente ao tráfego urbano.

2.2.2 Níveis Percentuais Estatísticos (Ln)

Ao se fazer um histograma cumulativo do ruído durante um determinado tempo de exposição, pode-se obter o percentual do tempo que esteve acima de certo nível de pressão sonora. Esse parâmetro é de suma importância em medições onde as fontes sonoras possuem intensidades variáveis, como é o caso do ruído de tráfego. O nível percentil pode ser definido como sendo o valor do nível de pressão sonora global ponderado na curva “A”, para o qual durante n % do tempo de duração da medição, os níveis de pressão sonora registrados ficaram acima dele. Em geral, os níveis percentis de maior interesse em ruído de tráfego são o L90, e o L10, sendo que o L90 pode ser considerado como o ruído de fundo e o L10 como os picos de ruído durante a medição (GERGES, 1992).

2.2.3 Índice de Ruído de Tráfego (TNI)

O ruído de tráfego oscila muito, de maneira que não é suficientemente representado por valores médios. O índice de ruído de tráfego (TNI) fornece um valor para quantificar o incômodo gerado pelo tráfego e é calculado conforme Equação 2.5 (LANGDON & SCHOLLES, 1968).

$$TNI = 4(L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30\text{dB} \quad 2.5$$

Este índice é usado para descrever o ruído ambiental e considera as variações dos níveis sonoros observados na tentativa de melhorar a relação entre o ruído de tráfego medido e as respostas subjetivas decorrentes de tais ruídos (VECCI, 2002). Tão importante quanto os níveis de ruído observados é também a sua oscilação, portanto o TNI leva em consideração os níveis percentis L90 e L10.

2.2.4 Nível de Poluição Sonora

O nível de poluição sonora é um parâmetro que leva em conta o nível sonoro equivalente (L_{eq}) e a magnitude da variação temporal dos níveis. Robinson (1971) propõe o cálculo do nível de poluição sonora pela seguinte equação:

$$LNP = L_{eq} + 2,56\sigma \quad 2.6$$

Onde:

σ é o desvio padrão da variabilidade do nível de ruído, amostrado durante o período de medição, medido em dB(A).

2.3 **Algumas Legislações, Resoluções e Normas de Interesse**

2.3.1 A Organização Mundial de Saúde – OMS

A Organização Mundial de Saúde recomenda que em áreas residenciais o nível de ruído não ultrapasse os 55 dB(A). No caso de existirem residências às margens de rodovias de tráfego intenso, faz-se necessário uma redução do nível sonoro da ordem de 20 a 30 dB(A).

De acordo com o órgão, níveis sonoros de cerca de 50 dB(A) podem incomodar, mas o organismo se adapta facilmente a ele. A partir de 55 dB(A) pode haver a ocorrência de estresse leve, acompanhado de desconforto. O nível de 70 dB(A) é tido como o nível do desgaste do organismo, aumentando os riscos de infarto, derrame

cerebral, infecções, hipertensão arterial e outras patologias. A 80 dB(A) ocorre a liberação de endorfinas, causando uma sensação de prazer momentâneo. Já a 100 dB(A), pode haver perda da audição permanente.

2.3.2 Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA

A Resolução do CONAMA nº. 001 (4) de 08/03/1990, bem como suas atualizações, dispõe sobre níveis sonoros e considera que os problemas dos níveis excessivos de ruído deterioram a qualidade de vida, estando sendo continuamente agravados nos grandes centros urbanos.

Esta resolução resolve que:

- A emissão de ruídos deve obedecer aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidas nesta resolução;
- Considera prejudicial à saúde e ao sossego público, ruídos com níveis superiores aos considerados suportáveis pela norma NBR-10.151/2000 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando do conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;
- A emissão de ruídos produzidos por veículos automotores deve obedecer às normas expedidas pelo Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN;
- As entidades e órgãos públicos competentes têm plena autoridade de dispor, de acordo com o estabelecido nesta resolução, sobre a emissão ou proibição da emissão de ruídos produzidos por quaisquer meios ou de qualquer espécie;
- As medições devem ser efetuadas de acordo com os procedimentos descritos pela norma supracitada NBR-10.151/2000; e que todas as normas regulamentadoras da poluição sonora, emitidas a partir da data em que esta Resolução foi publicada, deverão apresentar conteúdo compatível com o da presente Resolução.

A resolução CONAMA nº. 252 de 01/02/1999 considera que o ruído excessivo, principalmente o ruído proveniente do tráfego dos veículos rodoviários automotores, causa prejuízo à saúde física e mental, afetando particularmente a audição, sendo necessário se reduzir estes altos índices de poluição sonora nos principais centros urbanos do Brasil.

2.3.3 NBR 10.151 – ABNT, 2000

Esta Norma fixa as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades. Ela especifica um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos (de acordo com a duração, característica espectral e fator de pico) e uma comparação dos níveis corrigidos, com um critério que leva em conta os vários fatores ambientais.

O método de avaliação envolve as medições do nível de ruído, na escala de compensação A, em decibéis (comumente chamado dB(A)) considerando o nível critério de avaliação (NCA), conforme pode ser visto na Tabela a seguir.

Tabela 2-3 – Nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes externos, em dB(A).
(Fonte: NBR 10151 (ABNT, 2000))

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

Os limites de horário para o período diurno e noturno da Tabela 2-3 podem ser definidos pelas autoridades e órgãos gestores responsáveis de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar após às 22:00 h, nem terminar antes das 7:00 h do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado o período noturno pode ser prolongado até às 9:00 h.

O nível de critério de avaliação (NCA) para ambientes internos é o nível indicado na Tabela 2-3 com a correção de menos 10 dB(A) para janela aberta e menos 15 dB(A) para janela fechada.

A Norma também indica equipamentos de medição, condições de medição, indica os parâmetros a se considerar, fornece índices para correção e estipula valores máximos recomendáveis em função do tipo de uso do solo.

2.3.4 NBR 10.152 – ABNT, 2000

Esta Norma fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, tais como: hospitais, escolas, residências, escritórios, auditórios,

restaurantes, etc, referenciando a NBR 10151 (ABNT, 2000) como Norma complementar.

2.3.5 LEI NÚMERO 9.505 DE 23/01 DE 2008 – Belo Horizonte - MG

Esta recente Lei é do município de Belo Horizonte e dispõe sobre o controle de ruídos, sons e vibrações e dá outras providências. A referida Lei estipula níveis máximos para o município, dentro e fora do local do suposto incômodo, bem como delimita períodos, conceitua e indica parâmetros, apresenta exceções, indica adequações sonoras, etc. Dispõe ainda sobre infrações e proibições, entre outros. A Tabela 2-4 apresenta o resumo de suas prescrições referentes a horários e valores limites.

Tabela 2-4 – Resumo de limites estabelecidos pela Lei número 9505/08

Parâmetro ⁵	Diurno (07:00 às 18:59)	Vespertino (19:00 às 21:59)	Noturno ⁶ (22:00 às 23:59) \ (00:00 às 06:59)
Nível Sonoro Equivalente Dentro do local do suposto incômodo	70 dB (A)	60 dB (A)	50 dB (A) \ 45 dB (A)
Nível Sonoro Equivalente Fora do local do suposto incômodo (meio-fio)	75 dB (A)	65 dB (A)	55 dB (A) \ 50 dB (A)

2.4 Considerações sobre Ruído Veicular

O ruído de tráfego é proveniente, obviamente, dos veículos em circulação, com diferentes parcelas de emissão, que vão desde a aerodinâmica, passando pelo ruído motor até o contato entre o pneu e o pavimento, entre outros (MURGEL, 2000; PINTO, 2010).

No Brasil, as legislações específicas sobre ruído proveniente de automóveis são ainda escassas ou inexistentes como, por exemplo, no que se refere à emissão de ruído por pneus. Diferentemente da Europa, onde a Diretiva 2001/43/CE, do Parlamento

⁵ Segundo a Lei 9505/08, art. 4º, §3º, na impossibilidade de verificação dos níveis de emissão no local do suposto incômodo, será admitida a realização de medição no passeio imediatamente contíguo ao mesmo, sendo considerados como limites os níveis máximos fixados no *caput* desse artigo acrescidos de 05 dB(A).

⁶ Valores para dia útil típico (segunda a quinta).

Europeu e do Conselho, de 27 de junho de 2001, regulamenta os pneumáticos dos veículos motorizados (PINTO, 2010).

No entanto, pode-se inferir que, de forma geral, a preocupação em regulamentar os limites de emissão por veículos tem aumentado dia a dia, conforme corroborado pelas resoluções do CONAMA sobre esta pauta específica, o que faz com que a emissão sonora da frota de hoje seja bem menor do que 20 anos atrás. Obviamente esta redução é tanto pelo aumento da tecnologia empregada nos veículos quanto pelas referidas imposições legais, conforme exemplificado na Tabela 2-5. Salienta-se ainda que além de estabelecer parâmetros para emissão de ruído para veículos parados, há também recomendações específicas para veículos em movimento (NBR 8433, ABNT 1995).

Tabela 2-5 – Limites de nível de ruído estabelecidos pela Resolução CONAMA número 252 (Fonte: Resolução CONAMA número 252, 1999)

Níveis de Ruído na condição parado junto ao escapamento		
Categoria	Posição do motor	Nível de Ruído dB(A)
veículo de passageiros até 9 lugares e de uso misto derivado de automóvel	Dianteiro	95
	Traseiro	103
veículo de passageiro com mais de 9 lugares	Dianteiro	95
	Traseiro	103
veículo de carga e veículo misto não derivado de automóvel	Dianteiro	95
	Traseiro	103

Além disso, no contexto de esforços em prol de melhorar o controle de emissão de ruído veicular pode-se citar o trabalho desenvolvido por Pinto (2010), que realizou uma análise dos procedimentos atuais de medição de ruído em condição parado, realizando uma série de recomendações para tornar mais preciso e eficiente este procedimento.

2.5 Subáreas de Pesquisas sobre Ruído de Tráfego Urbano

Poderá ser visto nos próximos itens que áreas distintas de pesquisa abordam o tema ruído de tráfego, isto é, encontram-se nas publicações, pesquisas realizadas por acadêmicos/profissionais de engenharia mecânica, civil, transportes, ambiental, áreas médicas, entre outros.

Grande parte das publicações sobre ruído ambiental possui o intuito de mensurar os níveis de ruído presentes nos centros urbanos, bem como em vias rurais, analisando-os com relação às legislações e normas pertinentes. De forma geral, esses trabalhos têm levado a conclusões preocupantes, conforme poderá ser visto. Em praticamente todas as cidades pesquisadas, independente da classificação de uso do solo no local, os níveis de ruído estão acima do que é recomendado, seja por legislações específicas, seja por Normas Técnicas.

Outra importante subárea de pesquisa é a dedicada à modelagem. Constantes avanços têm sido realizados no que diz respeito à calibração de modelos de predição de ruído de tráfego. Percebe-se uma preocupação dos pesquisadores da área de possuírem ferramentas, cada vez mais precisas, para prever os níveis sonoros oriundos do tráfego veicular. De forma geral, verifica-se que grande parte das pesquisas nessa área está focada na calibração de modelos estatísticos e do tipo macroscópico⁷, por serem mais fáceis de manipular.

Existem ainda trabalhos, que podem ser agrupados, referentes à avaliação da percepção do usuário. Têm sido realizadas pesquisas que visam identificar quão incomodadas as pessoas se mostram em diferentes condições de ruído. De forma geral, os trabalhos mostram que a maioria dos que convivem nas médias e grandes cidades se sente, de alguma forma, incomodado com o ruído, conforme esperado.

Uma série de outras subáreas, referentes a ruído de tráfego, têm sido alvo de pesquisas em todo o mundo. Pesquisas com o objetivo de verificar a eficácia da vegetação, por exemplo, têm mostrado que esta precisa de faixas muito largas e densas para causarem algum efeito acústico relevante. No entanto, possui efeitos psicológicos, fazendo com que as pessoas tenham impressão que o ruído presente é menor.

Ainda pode se destacar o interesse dos pesquisadores em questões específicas do ruído de tráfego como, por exemplo:

- Pesquisas que visam identificar as variáveis independentes que mais se correlacionam com o ruído e como estas variam;
- Pesquisas que verificam fatores que influem na perda de precisão nas medições de campo;
- Pesquisas de ruído em terminais de transporte coletivo e etc;

⁷ Modelos macroscópicos consideram as características do tráfego em termos de pelotões, isto é, o fluxo de forma geral, a velocidade média dos veículos, densidade etc., enquanto modelos microscópicos consideram o comportamento dos veículos individualmente.

Na área médica, o foco é nos efeitos do ruído na saúde do homem, tanto físicos quanto psicológicos e fisiológicos.

No entanto, poderá ser percebido, ao longo deste capítulo, que uma parcela menor de publicações objetiva encontrar formas de minimizar o ruído de tráfego urbano. De qualquer forma, os procedimentos mais usuais e indicados nas pesquisas encontradas para contemplar este propósito são:

- Implementação de regulamentações e legislações mais rígidas;
- Investimentos em componentes com maior tecnologia e, portanto menos ruidosos;
- Desenvolvimento de pneus e pavimentos mais silenciosos;
- Medidas de controle e gerenciamento de tráfego;
- Desenvolvimento de barreiras acústicas;
- Entre outros.

Já a revisão bibliográfica referente a possíveis análises da alteração da divisão modal mostra que pouco tem sido feito de forma quantitativa, com relação à alteração dos níveis de ruído, como se pretende fazer no presente trabalho. Além disso, poderá ainda ser constatado que, em termos de impactos ambientais de sistemas de transporte, praticamente toda a atenção é voltada para a poluição atmosférica. Muito pouco foi encontrado relacionando mudanças na divisão modal e níveis de ruído, conforme já mencionado.

2.6 Mensuração e Avaliação dos Níveis de Ruído devido ao Tráfego Veicular

Diversos trabalhos (conforme mostrados ao longo deste item) têm sido desenvolvidos já há algum tempo em áreas urbanizadas com o intuito de avaliar o nível de insalubridade no que diz respeito a níveis sonoros. Neste contexto, Álvares & Souza (1992) levantaram dados sobre o ruído de uma forma geral na cidade de Belo Horizonte (MG). Segundo os autores, o trânsito é o maior contribuinte para a poluição sonora na cidade. Os 21 pontos mais ruidosos apontaram para valores de Nível Sonoro Equivalente, L_{eq} , acima de 79 dB(A).

Já os autores Silva & Goldner (1998) realizaram um estudo sobre o ruído de tráfego e a poluição atmosférica na cidade de Florianópolis. As medições de ruído foram realizadas em dias típicos da semana (terça, quarta e quinta-feira), e

simultaneamente a isso, contabilizou-se o fluxo de tráfego. Os resultados das medições mostraram que todos os pontos pesquisados apresentaram níveis sonoros que excederam o valor padronizado pela legislação municipal, isto é, 65 dB(A).

Algumas pesquisas desenvolvidas em ambientes internos também têm sido muito importantes, visto que grande parte da população vem sofrendo com a poluição sonora em seus próprios domicílios. Um estudo de caso do incômodo gerado pelo ruído de tráfego em zonas residenciais foi feito por Arruda *et al.* (2000). Foi detectado que moradores de um condomínio de elevado padrão no Rio de Janeiro estavam sujeitos a níveis de ruído muito elevados devido ao tráfego em avenidas próximas. As medições realizadas mostraram que, nos apartamentos, os valores obtidos estavam acima do permitido para o local, que é igual a 55 dB(A).

Outra pesquisa realizada também para mensurar os níveis de ruído em um centro urbano foi realizada por Morrillas (2002). Os resultados mostraram que em 90% dos locais de medição, o nível sonoro equivalente (L_{eq}) está acima de 65 dB(A) e 100% estão acima de 55 dB(A).

Um levantamento de níveis de ruído em centros urbanos foi realizado por Li *et al.* (2002a) na cidade de Beijing, na China. Os resultados das análises feitas mostraram que apenas um ponto de medição não possuía níveis de ruído acima do que é permitido pela legislação local (70 dB(A)). Além disso, o nível sonoro equivalente (L_{eq}) está acima de 75 dB(A) para 22 dos 41 pontos medidos.

O trabalho ainda teve como objetivo avaliar a influência de uma significativa mudança no sistema viário a partir da construção de um novo anel ao redor da cidade, nos níveis de ruído em quatro importantes vias, incluindo medições nesta nova via. O resultado das medições mostrou que, de forma geral, os níveis sonoros estão cerca de 5 dB acima do que estabelece a legislação pertinente naquele país. Por último, o trabalho concluiu que a construção do novo anel influenciou a distribuição do tráfego nas principais vias da cidade e, desta forma, os níveis de ruído presentes.

Ali & Tamura (2003) realizaram trabalho similar, fazendo um levantamento dos níveis de ruído na cidade do Cairo (Egito). O L_{eq} em todos os pontos medidos esteve acima de 76 dB(A), chegando a 88,9 dB(A) em determinados locais.

Outro trabalho, com o mesmo objetivo, realizado por Bortoli (2002) em alguns pontos na cidade de Curitiba em diversas épocas do ano, encontrou L_{eq} 's da ordem de 72 dB(A). Em geral, para todos os pontos analisados, os níveis de ruído foram considerados insalubres.

Um trabalho que objetivou mensurar o ruído em duas configurações distintas de sistema viário foi realizado por Alba *et al.* (2003). Compararam-se níveis de ruído em uma via, antes e depois de modificações significativas no sistema viário do entorno que causaram alterações na escolha de rotas e, conseqüentemente, no volume veicular, que por sua vez alterou diretamente os níveis de ruído. Após o término das obras verificou-se que os níveis de ruído caíram significativamente. As reduções, devido à redução dos volumes de tráfego, foram da ordem de 3,0 a 7,5 dB(A) atingindo, em vários locais, o patamar recomendado pela Organização Mundial de Saúde (OMS) nestas condições, 65 dB(A).

Em um estudo feito por Maia (2003) na cidade de Porto Alegre, verificou-se que em praticamente todos os locais onde se realizaram as medições, os níveis de ruído estiveram acima do permitido pela legislação vigente. Somente para alguns pontos, durante a noite, foram obtidos L_{eq} inferiores a 55 dB(A). O maior $L_{eq,24hs}$ foi igual a 71 dB(A).

Nos centros urbanos, vias expressas e avenidas possuem os maiores fluxos de tráfego e, portanto, estão bastante sujeitas ao ruído. Valadares & Suyama (2003) realizaram uma vasta pesquisa sobre poluição sonora na cidade de Belo Horizonte. Os níveis de ruído encontrados não atendem os níveis recomendados para saúde pública. A média do L_{eq} encontrado para os corredores de tráfego foi de 78 dB(A) no período diurno e 77 dB(A) no período noturno.

Outro estudo feito por Ali (2004) teve como objetivo quantificar os níveis de ruído provenientes do tráfego na cidade de Assiut (Egito). Constatou-se que os níveis de ruído na cidade de Assiut estavam acima do permitido pelas normas no Egito. O nível sonoro equivalente medido continuamente durante o dia e a noite, L_{dn} , ficou acima de 81 dB(A) nas duas vias expressas. Todas as vias arteriais obtiveram L_{dn} acima de 74 dB(A) e duas acima de 81 dB(A). Em algumas áreas residenciais foram encontrados L_{eq} 's acima de 80 dB(A).

Também Santos (2004) realizou uma pesquisa cujo objetivo foi avaliar a poluição sonora, proveniente do tráfego, no interior de um parque urbano, na cidade de Salvador-BA. Para isso, foram utilizadas ferramentas de geoprocessamento para elaboração do mapeamento dos níveis de ruído, bem como um *software* de microsimulação para verificar possíveis atenuações em função da colocação de barreiras acústicas, entre outras medidas de controle de ruído. Em suma, o trabalho permitiu verificar que, em grande parte dos pontos de medição, os níveis de ruído

encontrados estavam acima do que é considerado saudável para tempos de exposição maiores que uma hora.

Gündogdu *et al.* (2005) realizaram um trabalho que teve como principal objetivo quantificar os níveis de ruído na cidade de Erzurum, na Turquia. No entanto, a partir dos dados coletados foi possível também desenvolver modelos de predição de ruído de tráfego. Os modelos desenvolvidos foram comparados a outros existentes que, além de terem sua validação feita por testes estatísticos, apresentaram bons resultados. Por fim, os autores concluíram que os níveis de ruído na cidade são alarmantes e medidas para reverter a situação devem ser feitas a curto prazo.

Já o estudo realizado por Pimentel *et al.* (2007) foi realizado no campus da UFPB com o intuito de verificar as alterações nos níveis de ruído em função de uma alteração no sistema viário próximo. No entanto, o trabalho concluiu que os níveis de ruído se mantiveram constantes. Os autores mencionam o fato de que a diminuição da velocidade média dos veículos, bem como a substituição do pavimento gasto por um novo, pode ter compensado a diminuição da distância entre a fonte e o receptor.

2.7 Percepção do Usuário Quanto ao Ruído

A percepção do usuário é de suma importância nos estudos de ruído de tráfego. Watts *et al.* (1999) realizaram medições de ruído em locais com diferentes densidades de vegetação. Simultaneamente, tentou-se verificar as reações das pessoas com relação ao ruído em situações com e sem barreira vegetal. Devido à aleatoriedade das amostras das pesquisas, foram realizadas análises estatísticas usando regressões lineares, as quais indicaram que o campo visual da fonte sonora era diretamente proporcional às respostas sobre o nível de ruído observado, mostrando um efeito psicológico da barreira vegetal. No entanto, com relação à eficácia da mesma como atenuadora de ruído, foi baixa.

Um trabalho que identificou a reação da população com relação ao ruído foi feito por Zannin *et al.* (2002) na cidade de Curitiba - PR. Os resultados da pesquisa mostraram que 76% dos entrevistados dizem-se incomodados com o ruído e apontam como principal fator responsável o trânsito intenso. Com relação a um possível aumento do ruído com o passar dos anos, 60% dos entrevistados afirmam que o ruído aumentou nos locais próximos de suas residências.

Pesquisa mais específica sobre o incômodo do ruído de tráfego foi feita por Versfeld & Vos (2002). Os autores investigaram a possibilidade de haver alguma relação

entre o incômodo causado pelo ruído e a proporção de veículos pesados. A metodologia adotada para a realização dos testes em laboratório, com vinte pessoas adultas selecionadas, indicou que o incômodo gerado pelos veículos leves é maior do que o gerado pelos veículos pesados, isto sob determinadas condições (como $L_{eq} = 60$ dB(A) para as duas situações, e condições de tráfego estáveis).

Uma pesquisa de opinião foi realizada por Ali & Tamura (2003) na cidade do Cairo. Verificou-se que 73,8% dos entrevistados se diziam incomodados com o ruído da cidade. A pesquisa apontou ainda que 72,2% dos respondentes dizem estar incomodados com as buzinas dos veículos, 51,7% com o ruído dos veículos em alta velocidade, 46,3% com os ruídos devido à má conservação dos veículos em circulação e 43% dizem estar incomodados com o ruído provocado pelo contato dos pneus com o pavimento.

O trabalho desenvolvido por Paz *et al.* (2005) teve com objetivo avaliar a percepção das pessoas com relação aos níveis sonoros presentes em determinadas áreas urbanas. Foram selecionadas basicamente duas áreas distintas, uma onde existe controle de ruído, e a outra não, totalizando 123 pontos e 234 entrevistados. Os dados obtidos com os questionários foram tratados estatisticamente por *software* específico. O resultado das medições mostra que na zona controlada os níveis sonoros equivalentes foram da ordem de 53 dB(A), enquanto que na zona não controlada foram de 73 dB(A). Conforme era esperado, 94% dos entrevistados na zona não controlada se sentem incomodados com o ruído, contra 50% na outra.

Já no trabalho desenvolvido por Rodrigues (2006), com relação a ruído em terminais de transporte coletivo urbano, um capítulo foi destinado a avaliar a percepção dos usuários com relação ao ruído presente em terminais de transporte coletivo urbano. A pesquisa, que contemplou nove terminais em duas cidades diferentes, mostrou que mais de sessenta por cento dos entrevistados se sentem, de alguma forma, incomodados com o ruído, bem como o classificam como acima do normal.

O trabalho feito por Sandrock *et al.* (2008) teve como objetivo medir o incômodo causado pelo ruído de bondes e ônibus. Foram conduzidos dois estudos distintos. O primeiro teve o intuito exclusivo de identificar qual modo de transporte era mais incômodo em termos de geração de ruído. Os resultados mostraram que o incômodo causado por um bonde é similar àquele causado por um ônibus que emite 3 dB(A) a menos o que, de certa forma, destaca o bonde como menos incômodo.

Um segundo estudo selecionou um grupo de pessoas para realizar tarefas mentais expostas a diferentes níveis de ruído gerados por ônibus e bondes. Os resultados não mostraram diferença na produtividade para os diferentes níveis de ruído, mas novamente os participantes foram menos incomodados pelo ruído gerado pelo bonde. De forma geral, apesar das limitações desta pesquisa, o bonde parece ser um modo menos incômodo, em termos de ruído, do que ônibus convencionais.

Por último, vale também mencionar também os efeitos do ruído na comunicação. Isto é, a necessidade de se falar mais alto, ou até a dificuldade de compreensão, em função das interferências geradas por ruído de fundo, por exemplo.

2.8 Efeitos Físicos e Fisiológicos do Ruído no Homem

Ao contrário do que muitos pensam, os efeitos negativos do ruído no homem vão muito além da perda temporária ou permanente da audição. O ruído pode ter ainda efeitos psicológicos e fisiológicos. Mas sem dúvida alguma, a parte do corpo que mais sofre com o ruído é o sistema auditivo. Este é o mais sofisticado sensor de som, podendo detectar variações de pressão acima de 20×10^{-6} N/m² na faixa de frequência entre 20 Hz e 20000 Hz.

Qualquer redução na sensibilidade da audição é considerada perda de audição. O envelhecimento causa naturalmente uma perda de audição, principalmente nas altas frequências, chamado de presbiacusia, porém a exposição a altos níveis de ruído por tempos longos também danifica as células da cóclea e assim pode contribuir para algum tipo de redução da sensibilidade auditiva (GERGES, 1992). Quando exposto a altos níveis de ruído, um indivíduo pode sofrer a chamada Mudança Temporária do Limiar da Audição (MTLA), principalmente na banda de frequência entre 1 e 5 kHz. Se a exposição tiver maior duração, essa perda pode se tornar permanente e não somente nesta faixa de frequências.

A surdez nervosa e irreversível pode ser verificada para níveis de pressão sonora entre 110 e 130 dB(A), sendo que a partir de 75 dB(A) já podem ocorrer lesões auditivas (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

Os efeitos extra-auditivos também têm sido estudados por pesquisadores de diversas áreas ligadas à acústica. As vibrações provenientes do ruído refletem diretamente também por todo o corpo humano causando uma serie de alterações,

conforme mostradas a seguir (GERGES, 1992; VECCI, 2002, DEN BOER & SCHRLOTEN, 2008):

- No aparelho circulatório – ruídos entre 60 e 115 dB podem provocar alterações no número de batimentos cardíacos e aumento da pressão arterial. As conseqüências disso podem ser o aparecimento de hipertensão, infarto do miocárdio e até a morte, dentre outras;
- No aparelho digestivo – observam-se alterações nos movimentos peristálticos e ainda o aumento da produção de ácido clorídrico (HCl), sendo que este último é responsável pelo aparecimento de gastrites e úlceras;
- No sistema endócrino – responsável pela produção e regulação de hormônios no nosso corpo. Alguns desses têm sua produção aumentada em situações de elevados níveis de ruído como, por exemplo, adrenalina e cortisol (alteram a pressão arterial), o hormônio de crescimento (sua produção excessiva pode causar diabetes mellitus), a prolactina (causa alterações sexuais e reprodutivas). Em situações de ruído elevado, há a liberação de algumas endorfinas que podem ocasionar algum tipo de dependência, ou seja, um indivíduo pode se tornar “barulho-dependente” (PIMENTEL-SOUZA, 2000).

O ruído pode ainda afetar o funcionamento do sistema imunológico, dificultando a cura de doenças e ainda afetar as funções sexuais e reprodutivas, sendo que no homem há a diminuição do libido, impotência e/ou infertilidade e nas mulheres ocorrem alterações no ciclo menstrual, dificuldade para engravidar e maior incidência de abortos. Mulheres grávidas também podem sofrer quando expostas a elevados níveis de ruído, podendo ter filhos com anomalias congênitas (VON GIERKE & ELDRED, 1993).

Além disso, o ruído pode ainda causar consideráveis diminuições de produtividade na realização de tarefas intelectuais e físicas. Em situações monótonas ou desinteressantes, o ruído pode ser causar distração, dificultando a concentração. Para o bom desempenho de tarefas é aconselhável níveis de ruído em torno de 55 dB (A) (PIMENTEL-SOUZA, 2000).

O ruído também causa sérias interferências no sono. Um estudo realizado por Pimentel & Souza (2000) mostrou que, para ruídos de fundo em torno de 65 dB (A), os reflexos protetores do ouvido médio parecem funcionar, o que ocasiona uma maior demora para adormecer. Segundo o estudo do autor, o ideal seria um nível de ruído abaixo de 35 dB(A) para que haja um sono de qualidade.

Corroborando as conclusões já não tão recentes de diversos estudos e pesquisas sobre os efeitos do ruído no homem, foi publicado recentemente um estudo por Den Boer & Schrotten (2008), do órgão europeu T&E (Transport & Environment), no qual foram apresentados os efeitos do ruído no sono, doenças do coração, funções cognitivas, entre outros. A pesquisa, que referencia o ruído de tráfego como um “*sério problema de saúde pública*”, de acordo com a organização mundial de saúde, mostra que aproximadamente 50.000 pessoas na Europa sofrem ataques do coração fulminantes com significativa influência dos níveis de ruído de tráfego, conforme já mencionado.

É feito um detalhamento de todos os efeitos do ruído na saúde incluindo fatores psicológicos, físicos e inclusive mentais. O incômodo, classificado como fator psicológico, pode ser definido como sentimento de desprazer e pode ser percebido para valores acima de 55 dB (A). Ainda referente a este tipo de fator encontram-se os efeitos das funções cognitivas, que podem ser significativamente influenciadas, tais como a facilidade de aprendizado, concentração, compreensão da fala, etc. No âmbito de fatores físicos encontram-se efeitos em diversos órgãos, nos quais se destaca o sistema cardiovascular que pode sofrer disfunções como:

- Aumento da pressão sanguínea;
- Vários tipos de infartos (isquêmico, miocárdico, etc);
- Hipertensão;
- Outros.

No que se refere a possibilidades de apresentar problemas do coração, indivíduos constantemente expostos a níveis entre 65 e 70 dB(A) já apresentam 20% a mais de chance que pessoas vivem em áreas com menores índices de ruído.

No que se refere a doenças mentais, apesar de não haver comprovações de ligação direta, verifica-se que o ruído pode acelerar e intensificar o processo de desordem mental em casos já iniciados, principalmente em casos onde o ruído é percebido à noite.

Existem ainda as interferências do ruído na produção de hormônios, tais como cortisol. Alguns dos hormônios produzidos causam sensação de prazer, o que pode levar a certo tipo de dependência.

Apenas a título de informação, além das patologias ocasionadas pelo ruído (faixa de frequência entre 20 Hz e 20 kHz), vibrações incapazes de ser detectadas pelo ouvido humano também podem ser muito prejudiciais à saúde. O corpo humano pode ser

considerado como um sistema mecânico complexo de múltiplos graus de liberdade. A faixa de frequência na qual o corpo humano apresenta maior sensibilidade está entre 1 Hz e 80 Hz. Na faixa de frequência entre 4 Hz e 8 Hz encontram-se as frequências naturais dos elementos do corpo humano. A Tabela 2-6 fornece valores de frequências naturais expressas em Hertz de alguns membros do corpo humano:

Tabela 2-6 – Frequências naturais de partes do corpo humano. (Fonte: Gerges, 1992)

Partes do corpo	Frequência (Hz)
Ombros	3-5
Volume Pulmonar	5-10
Pernas	2-20
Antebraço	10-30
Cabeça, modo vertical	20-26
Globo ocular	32-78
Parede do Tórax	50-60
Mão-braço	20-200
Mão-Apertada	50-210

Apesar de nem todas as frequências elencadas na tabela anterior serem audíveis, as mesmas podem causar sérios danos fisiológicos. Outro exemplo sobre a gravidade dos efeitos da vibração no corpo humano é o caso de indivíduos que trabalham com equipamentos vibratórios manuais, tais como martelo pneumático e motosserra. Estes apresentam degeneração gradativa do tecido muscular e nervoso (Gerges, 1992).

Por último, vale destacar que, de acordo com a pesquisa, os efeitos do ruído também causam efeitos em animais e no ecossistema, interferindo na comunicação e no comportamento de algumas espécies.

2.9 Parâmetros que Influenciam o Ruído de Tráfego

Além do trânsito dos veículos (que é a fonte sonora propriamente dita) existem alguns fatores que contribuem positiva ou negativamente para os níveis de ruído de um determinado local. A geometria das edificações lindeiras, por exemplo. Heutschi (1995) realizou um trabalho onde foi analisada a influência de superfícies refletoras de ruído em uma rua longa e reta mostrando que existe um incremento nos níveis proporcionalmente à quantidade de fachadas presentes e inversamente proporcional à distancia destas em relação ao fluxo.

Um estudo que aborda a influência da vegetação na percepção do ruído foi feito por Watts *et al.* (1999). Segundo os autores, diversos trabalhos têm sido feitos sobre a real eficiência da utilização da vegetação como elemento de redução do nível acústico. Os trabalhos mostraram que sua eficiência é muito baixa, porém a absorção é crescente à medida que se aumenta a largura da área verde.

Tyagi *et al.* (2006) também realizaram um trabalho com objetivo de verificar a potencialidade do uso de vegetação como barreiras acústicas, bem como avaliar em quais faixas de frequência a mesma é mais eficiente. Os resultados mostraram que a absorção devido à vegetação cresce com a frequência das ondas. Os autores concluíram que a vegetação pode ser utilizada como um barato absorvedor sonoro para o tráfego urbano. Todavia, é essencial a utilização de densos e largos cinturões de vegetação o que pode em muitos casos inviabilizar a sua utilização, devido à falta de espaço.

Neste contexto, existe uma constante discussão sobre a possível eficiência da vegetação com efeito de redução nos níveis acústicos. Pesquisas já realizadas há bastante tempo por Moore (1966), Aylor (1972) e Hoover (1961) mostram que a vegetação só pode ser utilizada para absorver ondas sonoras quando aplicadas em largas faixas, mesmo para folhagens de alta densidade.

Segundo Beranek (1971), em largas faixas de vegetação, aproximadamente 100 m, há uma absorção de 23 dB(A) para densa vegetação, e 3 dB(A) para o caso de vegetação de baixa densidade para frequências da ordem de 1000 Hz.

De qualquer forma, a presença de vegetação na cidade colabora, de forma geral, para a absorção sonora. Além disso, independente da eficiência da vegetação como material de redução dos níveis sonoros, a mesma pode ser utilizada como barreira psicológica, uma vez que para este fim, a vegetação mostrou-se eficiente.

Diferentemente da vegetação lindeira, o tipo de pavimento tem uma influência direta sobre o ruído. Para velocidades superiores a 60 km/h, a maior parcela do ruído de tráfego é devido ao atrito pneu/pavimento. Um estudo realizado por Murgel (2000) teve como objetivo identificar os diferentes níveis de ruído emitidos em função de diferentes tipos de pavimento. Segundo o autor, o ruído é provocado pelo constante golpear das superfícies do pneu com a rugosidade do solo. Quanto menor a rugosidade, menor a vibração e, portanto, menor será o nível de ruído emitido.

Já Tang & Tong (2004) realizaram uma pesquisa dos níveis de ruído em vias inclinadas com fluxo livre na cidade de Hong Kong. O menor L_{eq} encontrado foi igual a 73,4 dB(A) e o maior foi 83,5 dB(A). Em alguns pontos de medição houve picos de

ruído maiores que 100 dB(A) chegando a 104 dB(A) em um deles. Os autores realizaram ainda uma comparação dos níveis obtidos por medição com diversos modelos de previsão de ruído. Os melhores coeficientes de determinação R^2 foram obtidos para a previsão do L90. Por último, o trabalho permite verificar que a influência da rampa nas vias é maior para os níveis percentis de excedência menores, como o L10.

O trabalho realizado por Alves Filho *et al.* (2004) teve como objetivo avaliar a influência da composição do tráfego nos níveis de pressão sonora. Para isso foram realizadas medições de ruído, simultaneamente a contagens volumétricas classificadas em três rodovias próximas à cidade de Florianópolis. De forma o geral a pesquisa permitiu concluir que a principal fonte do ruído de tráfego é o fluxo de veículos pesados. O trabalho que ainda compara os dados de um trabalho realizado na Inglaterra conclui que as diferenças são devidas principalmente ao estado de conservação e idade da frota brasileira, bem como o modo de dirigir entre os dois países.

Uma pesquisa feita por Alberola *et al.* (2005) teve o objetivo de identificar as variações nas medições de nível de ruído, através da avaliação de alguns parâmetros estatísticos. Foram realizadas medições de ruído em 50 diferentes locais em áreas residenciais afetadas por ruído de tráfego. Realizadas as medições, iniciou-se um processo de avaliação de como os níveis de ruído variam através de relações estabelecidas entre desvio padrão, médias e logaritmos dos parâmetros identificados. Os resultados do trabalho mostraram as seguintes conclusões:

- O desvio padrão dos valores medidos aumenta com o decréscimo da média dos níveis sonoros;
- Quanto menor o tempo de medição, maior a variação do desvio padrão;
- Em fluxo livre existe um aumento do desvio padrão instantâneo com o aumento dos níveis sonoros;
- O desvio padrão horário tende a diminuir com o aumento dos níveis sonoros médios;
- Variações devido a condições meteorológicas crescem com a distância devido aos efeitos da propagação das ondas sonoras;
- Existe uma forte relação inversa entre o desvio padrão de $Leq,1h$ e os níveis sonoros médios. Isto é, **quanto menor os níveis de ruído, maior é a imprecisão.**

Outro trabalho, já mais recente, com o objetivo de verificar a influência dos pavimentos nos níveis de ruído foi feito por Specht *et al.* (2007). O trabalho, que avaliou o ruído causado pelo tráfego de veículos em quatro diferentes revestimentos implantados, a saber (I) CBUQ (Concreto Betuminosos Usinado à Quente), (II) TSD (Tratamento Superficial Duplo), (III) CPA (Camada Porosa de Atrito) e (IV) CCP (Concreto de Cimento Portland), mostrou que os pavimentos mais ruidosos são aqueles de concreto, sendo o pavimento poroso o que apresentou os menores níveis de ruído.

2.10 Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Ruído de Tráfego

Dentre os diversos enfoques em pesquisas com ruído de tráfego, a quantificação dos níveis encontrados nas áreas urbanas e o desenvolvimento de modelos são os mais comuns e, especificamente, é um tema de suma importância para a presente tese visto que será necessário calibrar um modelo para desenvolver as simulações propostas e já explanadas.

Por exemplo, Reis *et al.* (2000) investigaram a poluição sonora na cidade de Uberlândia (MG), através de um estudo de caso. Desenvolveu-se um modelo de previsão para ambientes externos em função apenas do fluxo de tráfego. O modelo, mostrado na equação a seguir, mostrou ser estatisticamente significativo, apresentando coeficiente de determinação de 84,3%, erro padrão de estimativa $S_{y(e)} = 2,07$ e valor para o teste t-student $t_{(b)} = 4,0$ para 95% de nível de confiança.

$$NPS_{Ext} = 68,87 + 0,003087 \cdot q \quad 2.7$$

Onde:

- NPS_{Ext} é o nível de pressão sonora (externo a edificações) em dB(A);
- q é o fluxo de veículos a cada 10 minutos.

Foi apresentada por Steele (2001) uma vasta revisão sobre os modelos de ruído de tráfego existentes, suas origens, metodologias e aplicações. Segundo o autor, o primeiro modelo de previsão de ruído gerado pelo tráfego de veículos deve ter sido desenvolvido em torno de 1952, sendo que a variável independente predita foi o nível percentil L_{50} , conforme pode ser visto na equação a seguir:

$$L_{50} = 68 + 8,5 \log(V) - 20 \log(D) \quad 2.8$$

Onde:

- L_{50} é o nível percentil;

- V é o volume horário de veículos;
- D é a distância entre a fonte e o receptor.

Steele (2001) faz ainda uma detalhada descrição sobre os modelos mais utilizados nos dias atuais. O primeiro deles, pertencente à Federal Highway Administration (FHWA), foi desenvolvido nos Estados Unidos pelo Departamento Federal de Transporte em Rodovias, conforme mostrado, simplificadamente, na equação a seguir:

$$L_{eq} = \bar{L}_0 + 0.115\sigma^2 + 10 \cdot \log \frac{N_i \cdot \pi \cdot D_0}{T \cdot S_i} + 10 \cdot \log \left(\frac{D_0}{D} \right)^{1+\alpha} + 10 \cdot \log \left(\frac{\Psi_{\alpha(\phi_1, \phi_2)}}{\pi} \right) + \Delta_s \quad 2.9$$

Onde:

- L_{eq} é o nível sonoro equivalente em uma hora;
- L_0 é a classe de pressão (SPL) na distância de referência;
- σ é o desvio padrão para a classe;
- N_i é o número de veículos na classe i por hora;
- D_0 é a distância de referência;
- D é a distância perpendicular entre o receptor e a faixa de tráfego central;
- α é um parâmetro lateral que varia entre 0 e 1;
- S_i é a velocidade média da classe i;
- T é a duração (geralmente 1 hora);
- ϕ_1 e ϕ_2 são os ângulos de visada dos limites de observação do trecho de via;
- Δ é a atenuação devido a barreiras, edificações, vegetação, etc.

Outro método de previsão de ruído bastante conceituado, o CRTN (STEELE, 2001; DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1988), foi desenvolvido e é bastante utilizado no Reino Unido. A equação geral que descreve o mesmo pode ser vista, simplificadamente, a seguir:

$$L_{10} = 10 \cdot \log q + 33 \cdot \log(v + 40 + 500 / v) + 10 \cdot \log(1 + 5p / v) + 0,3G - 27,6 \quad 2.10$$

Onde:

- L_{10} é o nível percentil;
- q é o fluxo de veículos em 1 hora;
- v é a velocidade média (km/h);
- p é o percentual de veículos pesados;
- G é a rampa da via (%).

Também no trabalho de revisão bibliográfica sobre modelos feita pelo mesmo autor, o método RLS 90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen) que foi desenvolvido na Alemanha é o modelo padrão utilizado no país para previsões de ruído de tráfego. No entanto, a formulação matemática do mesmo é de grande complexidade, em função de diversos parâmetros que devem ser calculados de maneira intermediária. Dessa forma, recomenda-se, em caso de maior interesse, procurar pelo trabalho do referido autor (STEELE, 2001) para maiores informações.

Ainda segundo Steele (2001) o *software* comercial MITHRA foi desenvolvido por uma empresa francesa para lidar com o ruído de tráfego. Em seu algoritmo o *software* aborda as influências devidas à atmosfera e topografia, além das variáveis de caracterização do fluxo. Este *software* realiza simulações para estradas comuns considerando seis tipos diferentes de pavimento.

Já Li *et al.* (2002b) desenvolveram um trabalho que teve como objetivo calibrar um modelo para predição de ruído de tráfego conjuntamente com um sistema de informação geográfica (SIG). A calibração do modelo mostrou-se precisa, obtendo um coeficiente de determinação R^2 igual a 0,89.

Com o intuito de desenvolver um modelo de previsão que contribuísse para a determinação dos níveis de ruído nas rodovias que chegam à cidade de Curitiba, Calixto *et al.* (2003) realizaram uma vasta coleta de dados de ruído e tráfego em 100 diferentes pontos localizados nas rodovias federais BR-116 e BR-277 na área urbana da cidade. Calibrando modelos com base na teoria de regressão linear múltipla com os dados coletados, testaram-se várias hipóteses a fim de se obter a melhor resposta estatística. O melhor ajuste encontrado foi em função do logaritmo do fluxo de veículos e da porcentagem de veículos pesados. O modelo, que pode ser visto na equação 2.11 mostrou-se estatisticamente válido.

$$L_{eq} = 7,7 \log[Q(1 + 0,095VP)] + 43 \quad 2.11$$

Onde:

- L_{eq} é o nível sonoro equivalente em uma hora a 25 metros da fonte;
- Q é o fluxo de veículos;
- VP é o percentual de veículos pesados.

Um modelo simplificado de previsão foi desenvolvido por Valadares & Suyama (2003) a partir de uma base de dados da cidade de Belo Horizonte através da técnica de regressão linear múltipla. Os resultados estatísticos apontaram coeficiente de

determinação R^2 de 75,7%, o que é bastante satisfatório para os modelos de previsão de ruído. O mesmo pode ser visto na equação 2.12:

$$L_{eq} = 67,3 + 2,62\log Q_p + 0,043\sqrt{Q_L} + 2,73KQ_p - 0,520L_p + 1,98\sqrt{D_D} - 0,594D_D + 2,2\sqrt{D_A} - 0,57D_A \quad 2.12$$

Onde:

- L_{eq} é o nível sonoro equivalente em uma hora;
- Q_p é o fluxo de veículos pesados;
- Q_L é o fluxo de veículos leves;
- KQ_p é uma variável dummy para maiores fluxos de veículos pesados;
- L_p é a largura do passeio;
- D_D e D_A são as declividades descendentes e ascendentes do trecho de via.

O trabalho realizado por Bhaskar *et al.* (2007) teve como objetivo desenvolver um sistema de predição de ruído que integra um tradicional modelo, um simulador de tráfego e um sistema de informação geográfica. As avaliações do sistema mostraram que o mesmo é bastante preciso para estimar níveis de ruído em áreas edificadas ou não. Aplicando esta ferramenta desenvolvida para alguns cenários que objetivam avaliar possíveis reduções de ruído, chegou-se a conclusões relevantes. As maneiras mais eficazes de se reduzir o ruído de tráfego, através das simulações foram através da consideração de pavimentos porosos bem como barreiras acústicas (muros). Medidas de gerenciamento de tráfego não foram tão eficazes visto que a restrição a veículos pesados em determinada via gerou um aumento de ruído em vias que antes eram menos solicitadas.

Já um recente trabalho realizado por Rodrigues *et al.* (2007b) teve como objetivo identificar os níveis de ruído na rodovia MG-010, perto de Belo Horizonte (Brasil). A partir desta base de dados desenvolveu-se um modelo de predição simplificado. Os parâmetros de verificação estatística da calibração do modelo foram satisfatórios, sendo que o coeficiente de determinação estatística R^2 foi igual a 0,91 e o erro médio absoluto foi de 1,15 dB(A). A equação do modelo é mostrada a seguir:

$$L_{eq} = 54,56 + 5,2\ln\left(\frac{Q}{d}\right) \quad 2.13$$

Onde:

- L_{eq} é o nível sonoro equivalente em 15 minutos;
- Q é o fluxo de veículos;
- d é a distância entre a fonte e o receptor.

Outro trabalho realizado por Rodrigues *et al.* (2008a) calibrou um modelo estatístico a partir de regressão linear múltipla para rodovias em processo de duplicação. Os resultados mostram que a validação do modelo foi suficiente e o mesmo pode ser utilizado principalmente em rodovias com significativo volume de veículos pesados. O mesmo é mostrado a seguir:

$$L_{eq} = 47,8 + \ln \left[\frac{[2(hv + mt) + c]^{2,82} \cdot (hv)^{4,5}}{d^{3,15}} \right] \quad 2.14$$

Onde:

- L_{eq} é o nível sonoro equivalente em 15 minutos;
- hv é o fluxo de veículos pesados;
- mt é o fluxo de motocicletas;
- c é o fluxo de autos;
- d é a distância entre a fonte e o receptor.

Já no trabalho similar realizado por Can *et al.* (2008) foram testadas diferentes composições de tráfego, verificando a influência disto nas estimativas do L_{eq} e de alguns níveis estatísticos. Foram testados quatro cenários que representam as condições de tráfego urbano. De forma geral, o trabalho permitiu verificar que a presença de semáforos implica em maiores níveis de ruído. Além disso, menores níveis de ruído, tais como L_{90} são mais influenciados pela distribuição do tráfego. Por último o trabalho conclui que modelos do tipo macroscópicos são suficientes para estimar o L_{eq} em condições de tráfego urbano.

A pesquisa realizada por Banerjee *et al.* (2008) teve como objetivo calibrar um modelo de predição de ruído urbano, através de técnicas de regressão múltipla. As variáveis independentes consideradas foram o volume horário de veículos, o percentual de veículos pesados, a velocidade média, a largura média da via, bem como características do uso do solo. As medições foram feitas durante o dia e à noite. O modelo calibrado que obteve maior precisão foi em função apenas de veículos leves e pesados, conforme pode ser visto na equação a seguir, com um coeficiente de determinação estatística igual a 0,89.

$$L_{eq-d} = 62,903 + 0,006667V + 0,023770H + 0,107250Rv \quad 2.15$$

Onde:

- L_{eq-d} é o nível sonoro equivalente diurno em uma hora;
- V é número de veículos por hora;

- H é o percentual de veículos pesados;
- R_w é a largura da via.

Em virtude da relevância deste item para a presente tese, pode-se fazer uma síntese do que foi exposto, na qual o mais importante salientar é que o desenvolvimento de modelos é um tema bastante presente no desenvolvimento de pesquisas acadêmicas e essencial para tomada de decisões cada vez mais precisas no que se refere ao planejamento de transportes e seus impactos ambientais.

Por fim, é importante salientar que além de modelos específicos como os mostrados neste item, existem softwares comerciais que contemplam a predição de ruído de tráfego urbano, tais como o CadnaA, no qual podem ser modeladas diversas configurações de sistema viário, estacionamento, presença de semáforo, edificações, vegetação, etc. A Figura 2-2 apresenta uma imagem ilustrativa de uma área urbana modelada no referido software.

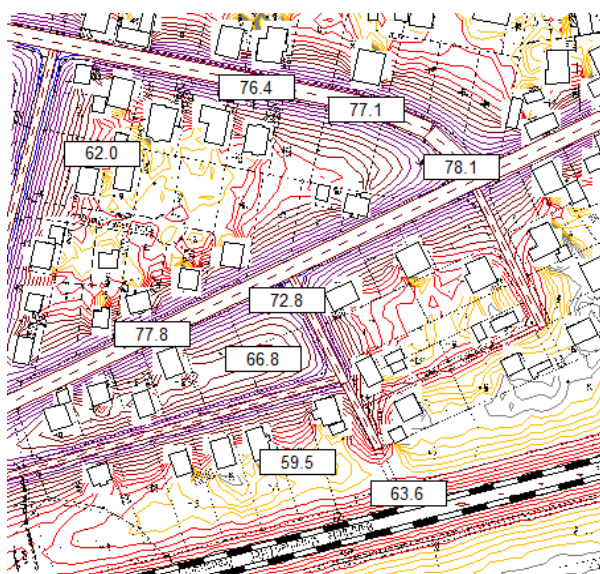


Figura 2-2 – Exemplo de configuração urbana modelada pelo software CadnaA

2.11 Demais Temas Correlatos de Pesquisas sobre Ruído de Tráfego

Considerando a vasta abrangência do tema ruído de tráfego, algumas pesquisas focam especificamente certos casos desta patologia. Exemplo disto é que, recentemente, o trabalho realizado por Quadros (2004) estudou o ruído gerado pelo tráfego de veículos de coleta de lixo. As conclusões mostram que os níveis gerados pelos veículos são elevados, principalmente devido à idade da frota, que possui tecnologia pouco

avançada. A pesquisa ainda infere que a aplicação regular de veículos de serviços públicos com acentuados níveis de ruído durante horários noturnos em áreas residenciais, não é sustentável no que diz respeito à legislação de proteção contra ruído (poluição sonora).

Anualmente é realizada uma campanha mundial de conscientização sobre as implicações da utilização desordenada dos veículos particulares nos centros urbanos, é o movimento “Na cidade sem meu carro”. A campanha realiza todo dia 22 de setembro, em diversos países do mundo, uma série de procedimentos para conscientização da população, dentre os quais se destaca a restrição da circulação de veículos particulares em determinada área das cidades participantes.

Em uma destas ocasiões foram monitorados os níveis de ruído e comparados com medições realizadas nos mesmos locais, no entanto em dias com tráfego típico (RAPOSO & MATOS, 2004).

Foram realizados monitoramentos em nove cidades portuguesas em áreas com total restrição ao tráfego (zona 1), com restrição a veículos particulares (zona 2) e áreas externas aos locais de restrição (zona 3), no dia 22 de setembro e em um dia típico.

Os resultados apontaram para reduções significativas dos níveis sonoros, de forma geral. Nas áreas classificadas como zona 1 obtiveram-se reduções da ordem de 45% nos níveis sonoros medidos. Já nas áreas classificadas como zona 2, a redução foi de cerca de 30%. As zonas do tipo 3 tiveram redução pequena e, em alguns casos, até aumentos dos níveis presentes em função, principalmente, das alterações e desvios de tráfego em função das restrições de circulação em determinadas áreas.

A conclusão deste trabalho poderia ser tomada como um indicador de possíveis ganhos em função de alterações modais, se o tráfego de pessoas dentro da área com circulação restrita tiver permanecido o mesmo. No entanto, o presente trabalho não teve este enfoque e não foi mensurado o total de viagens nas áreas específicas em nenhum dos dias pesquisados. De qualquer forma, pode-se inferir que houve uma diminuição significativa do tráfego de veículos particulares no dia específico, com a permanência dos veículos de transporte coletivo, e ainda assim houve uma redução significativa do ruído.

Já o trabalho desenvolvido por Lebedowska (2005) avaliou as principais fontes de ruído em centros urbanos, distinguindo-as em dois tipos principais: ruído de tráfego e ruído de fundo. A partir de relações básicas de operações na escala decibel, o autor estabelece quatro classificações para cada uma das parcelas, sendo que a menor delas

pode interferir em, no máximo, 3 dB no valor total de ruído presente. As quatro classificações segregam cinco patamares, a saber, área muito tranquila, área tranquila, área com nível médio de ruído, área com ruído, e área com muito ruído. As conclusões do trabalho inferem que tais classificações contribuem para distinguir o quão impactante é o tráfego de veículos em determinada área, no que diz respeito a ruído.

Uma pesquisa que também merece comentário, já realizada há alguns anos, cujo foco foi avaliar os impactos da troca do tipo de combustível utilizado em frotas de ônibus, mostrou conseqüências benéficas nos níveis de ruído. Isto é, a utilização de *Compressed Natural Gas* (CNG) mostrou emissões sonoras menores do que ônibus que utilizavam diesel (PAINULY AND PARIKH, 1993; MILLAR, 1993 apud BALASSIANO, 1995).

Rodrigues (2006) estudou o ruído dentro dos terminais urbanos de transporte. O trabalho foi base para o desenvolvimento de alguns modelos de predição de ruído, sendo que o mais relevante é o de L_{eq} que apresentou resultados significativos com coeficiente de determinação da ordem de 90%.

Além da mensuração dos níveis de ruído nos terminais, a pesquisa permitiu verificar que os valores encontrados estão acima do que é recomendado pelas Normas Técnicas e que, conforme esperado, o fluxo de ônibus e a geometria das edificações são muito relevantes nos valores finais obtidos.

Pesquisa similar foi realizada por Silveira & Junior (2007) que estudaram os terminais da cidade de Fortaleza com o objetivo de calibrar um modelo de predição para as situações locais. Apesar de, em função da metodologia utilizada não ter sido possível calibrar modelos de predição, ou mesmo aplicar os existentes, o trabalho conclui que, de forma geral, os terminais da cidade são bastante insalubres com relação a ruído, acima dos valores preconizados pela NBR 10151 (ABNT, 2000) e ainda pela Organização Mundial da Saúde.

O ruído de tráfego é uma das principais parcelas do ruído urbano. A influência deste em diversas questões nas cidades é cada vez mais abrangente. Exemplo disso pode ser visto na recente pesquisa realizada por Kim *et al.* (2007) referente à influência da poluição sonora no valor de imóveis. O estudo que foi realizado na cidade de Seul correlacionou os níveis de ruído com o valor das edificações próximas de uma importante via de tráfego na cidade. Os resultados mostraram que, de forma geral, há uma desvalorização de 1,3% no custo do imóvel, para cada incremento de 1% nos níveis de ruído presentes.

Já um recente trabalho com objetivo de avaliar os efeitos do ruído na saúde do homem foi realizado por Stassen *et al.* (2008). A pesquisa deste trabalho teve como objetivo avaliar a influência do ruído no montante de doenças influenciadas por questões externas na população da região de Flanders, na Bélgica. Para isso, utilizou a metodologia DALY. Esta consiste em um estimador da perda de anos de vida em função de determinado parâmetro percussor. O mesmo leva em consideração o número de mortes, a expectativa de vida na idade do óbito, o número de incidentes e a duração do mesmo. Após a análise de uma série de pesquisas realizadas naquela região concluiu-se que 1,7% do total de doenças são devidas ao ruído, bem como 21,8% das doenças causadas por questões ambientais. Apesar de não parecer, os números são expressivos, considerando as outras possíveis causas.

Olhando um aspecto mais propositivo para minimizar a patologia ‘ruído de tráfego’, na recente pesquisa feita por Den Boer & Schrotten (2008), já referenciada neste documento, são mostradas diversas formas para minimização do ruído de tráfego. Inicialmente a pesquisa apresenta as duas formas básicas mais eficientes de se atenuar o ruído de tráfego, na fonte e na propagação. Corroborando as premissas de eficiência dos procedimentos de controle de ruído, conforme apresentado por autores clássicos de acústica como Beranek (1971), a pesquisa infere que o potencial de redução de ruído, quando este é tratado ainda na fonte, é maior. Neste contexto são apresentadas diversas formas, dentre as quais se destacam:

- Regulação mais rígida dos níveis máximos permitidos de ruído pelos veículos automotores;
- Regulação mais rígida dos níveis máximos permitidos de ruído pelos pneus;
- Aprimoramento da tecnologia dos motores, pneus, bem como dos sistemas de exaustão dos veículos;
- Melhoria da qualidade dos pavimentos, tornando-os menos ruidosos;
- Procedimentos para controlar a velocidade e gerenciar o tráfego de forma geral.

Na impossibilidade de implantar medidas para minimizar o ruído de tráfego ainda na fonte, o documento sugere como medida a construção de barreiras acústicas. No entanto, este procedimento só é aconselhável para locais onde não há tráfego de pedestres, tais como em vias arteriais de grande porte, rodovias, etc.

Também a partir da pesquisa feita por Den Boer & Schrotten (2008) podem ser retirados diversos dados sobre os custos sociais gerados pelo ruído de tráfego.

Inicialmente a pesquisa mostra que as pessoas estão pagando, cada vez mais, para morar em locais sem a influência do ruído de tráfego. Esta informação também é corroborada pelo trabalho feito por Kim *et al.* (2007), já referenciado neste documento.

O trabalho mostra que o custo social anual devido a ruído de tráfego na União Européia gira em torno de 30 a 46 bilhões de euros, o que corresponde a 0,4% do PIB. Estes custos, que são relacionados principalmente com gastos na saúde, representam um terço do montante gasto com acidentes de trânsito nos mesmos países.

Por último, corroborando uma das premissas incentivadoras do objetivo principal desta tese, avaliar a relação entre o ruído e a divisão modal nos centros urbanos, vale salientar que Den Boer & Schrotten (2008) ainda mostram que os carros de passeio são responsáveis por cerca de 90% de todo esse custo social.

2.12 Impactos da Escolha, Caracterização e Alteração da Divisão Modal

Diferentemente do que foi apresentado até agora no capítulo de revisão bibliográfica, os próximos itens não se referem diretamente sobre ruído, e sim apresentam o que se tem estudado no contexto de avaliação de alterações da divisão modal, bem como impactos ambientais de sistemas de transporte.

Neste contexto, as pesquisas por trabalhos publicados relacionados à divisão modal focaram-se, de forma geral, em encontrar publicações que avaliassem quais impactos ambientais de sistemas de transporte estão sendo estudados no mundo, bem como quais parâmetros são avaliados quando se fala em alteração de divisão modal.

Um estudo mais abrangente, realizado já há algum tempo, feito por Lakshmanan (1997) avaliou dados sobre o total de emissão de CO₂ nos EUA entre 1970 e 1990, dividindo em dois períodos de 10 anos, verificando o total emitido por transportes, e a parcela deste no montante total. Os resultados mostraram que o aumento da emissão de CO₂ em cada década foi maior do que 40%.

O trabalho já realizado também há mais tempo por Bose & Srinivasacharyt (1997) teve como objetivo avaliar os fatores que influenciam o consumo de energia e os níveis de emissão no setor de transportes na cidade de Delhi utilizando o *software* LEAP. Os resultados mostram que o consumo será mais que o dobro em 20 anos de projeção. Além disso, a concentração de CO irá exceder o padrão de qualidade do ar em cerca de 30% em 10 anos e 40% em 20 anos.

Já um trabalho realizado por Poyares (2000) apresentou os problemas relacionados ao excesso de veículos nas áreas centrais de grandes cidades, como congestionamentos, impactos ambientais, etc. O objetivo deste trabalho foi fornecer elementos e um procedimento de análise que pudesse auxiliar os técnicos a aplicarem medidas de intervenção no tráfego em áreas centrais, com restrição ao uso de automóvel e incentivo ao transporte público, a fim de obter um melhor desempenho do sistema viário. Foram feitas várias simulações, utilizando-se preferencialmente modelos microscópicos, de vários carregamentos em diferentes cenários e contextos de repartição modal, avaliando vários indicadores de desempenho.

Construiu-se uma rede viária representativa das cidades de médio porte brasileiras. Depois, alocou-se determinado tráfego na rede e o mesmo foi aumentado gradativamente, sendo realizada também a transferência modal entre automóveis particulares e ônibus. Isto é, retiraram-se automóveis e colocaram-se mais ônibus, transportando a mesma quantidade de pessoas.

As conclusões do trabalho permitem inferir quais são os valores de percentuais de automóveis e ônibus nas vias, juntamente com o grau de utilização das mesmas, a partir dos quais é aconselhável a implantação de medidas para restrição de automóveis ou tráfego motorizado. De forma geral pode-se dizer que para vias com 70% de sua capacidade sendo utilizadas é aconselhável a restrição de automóveis quando a participação no total de viagens por automóveis e ônibus for, respectivamente, acima de 40% e 60%. Além disso, o trabalho concluiu que os cenários onde o transporte coletivo é priorizado apresentaram melhores valores para os indicadores de qualidade utilizados.

O trabalho realizado por Parkhurst & Richardson. (2002) teve como objetivo avaliar impactos na divisão modal, fruto de uma integração entre automóveis e ônibus através da criação de estacionamentos próximos a estações de ônibus fora da área central e ainda verificar, dessa forma, quais os impactos tanto na área central como na área externa dessa. Foram avaliadas basicamente duas estratégias, onde a primeira locava um ponto de integração distante 4 km do centro da cidade e a segunda locava vários pontos de integração entre 4 e 24 km distantes do centro.

Os resultados mostraram que, de forma geral, implantar vários pontos de integração é melhor do que apenas um mais próximo da área central. Isto porque ao implantar apenas um verifica-se uma redução de tráfego no centro da cidade, mas um aumento na área externa a essa, o que não se verifica na outra proposta. Deste modo, impactos como ruído, congestionamento, qualidade do ar, entre outros, tiveram

melhorias mais significativas na alternativa de vários pontos de integração ao invés de apenas um.

Já a pesquisa realizada por Midenet *et al.* (2004) avaliou duas formas de controle semafórico, no que diz respeito à emissão de gases pelo tráfego veicular, a saber, controle atuado por veículos e controle por câmera. De forma geral os resultados mostram reduções de cerca de 4% na emissão de gases, em função de uma minimização de paradas e filas, com o controle semafórico sendo realizado por câmera.

A pesquisa realizada por Coelho *et al.* (2005) verificou a influência de diferentes tipos de sinais de controle de velocidade de tráfego em termos de emissão de poluentes. Os resultados da pesquisa mostram que para um trecho com velocidade média de 65 km/h e desvio padrão de 20 km/h, a presença de dispositivos como estes podem aumentar a emissão em 34%, 105% e 131%, respectivamente, para os gases NO, HC e CO.

No âmbito da modelagem para estimativas Potoglou & Kanaroglou (2005) aperfeiçoam um modelo existente sobre uso do solo e transportes para também estimar e mapear parâmetros ambientais, tais como monóxido de carbono, sendo a aplicação inicial do desenvolvimento realizada para uma cidade do Canadá.

O trabalho realizado por McKinnon (2005) teve como objetivo avaliar os impactos do aumento do peso máximo permitido por caminhões no Reino Unido, em termos de custos e emissões de poluentes. De forma geral o trabalho conclui que a medida permite significativos ganhos econômicos e ambientais.

Em termos de se avaliar o que pode alterar a divisão modal, um trabalho realizado por Witte *et al.* (2006) avaliou os impactos de proporcionar transporte gratuito para estudantes, no que diz respeito a total de viagens, escolha modal, dentre outros comportamentos referentes a transporte. A pesquisa foi realizada com dois grupos de alunos, sendo que um tinha acesso a transporte gratuito e outro não. A conclusão é que a medida é eficiente e faz com que haja um aumento do uso do transporte público pelos alunos beneficiados e ainda, de certa forma, pelo grupo de alunos não beneficiados.

Pesquisando possíveis impactos de alterações na divisão modal Groot & Steg (2006) avaliaram a forma como políticas de desestímulo ao uso do automóvel podem influenciar na qualidade de vida da população. Além disso, o trabalho ainda visou identificar qual parcela da população deixaria o automóvel em função de uma política tarifária. Por último, o trabalho buscou identificar se existe diferença na percepção de qualidade de vida pelos usuários.

Foram realizadas pesquisas em cinco países da Europa onde foi perguntado basicamente “*Quais seriam os efeitos na sua qualidade de vida se seus gastos com transporte por automóvel aumentassem em 100%?*”. Os entrevistados também foram questionados sobre a faixa de alteração dos custos de uso do automóvel que eles julgam aceitáveis. Preliminarmente os resultados mostram que as pessoas julgam que terão perda de qualidade de vida, principalmente, no que se refere a conforto, liberdade e bem estar. No entanto, terão uma melhora na qualidade de vida referente à segurança e meio ambiente.

De forma geral, a pesquisa mostra ainda que a percepção nos diversos países é diferente, sendo que na Holanda e na Suécia é onde se tem as percepções mais negativas e na Itália e na República Checa as menos negativas. O trabalho ainda conclui que não há grande aceitação com a política, nem um número significativo de pessoas dispostas a deixar o carro mesmo que haja o incremento de custo de uso do mesmo. Os respondentes da Holanda são os mais resistentes.

Com o intuito de avaliar a eficácia de parcerias para melhoria da qualidade do transporte coletivo por ônibus em Londres e assim atrair mais usuários de automóveis para este modo, contribuindo para o descongestionamento das vias, além de outros benefícios foi realizada, neste contexto, uma pesquisa por Davison & Knowles (2006).

Foram realizadas pesquisas com usuários de ônibus e de automóveis para identificar o motivo de utilização daquele modo de transporte, paralelamente à implantação de medidas de priorização do transporte coletivo. O estudo de caso foi feito em dois corredores da cidade de Londres.

O trabalho concluiu que, das pessoas entrevistadas, um pequeno percentual tinha ciência das modificações nos corredores, a fim de melhorar a qualidade do serviço de ônibus e, de forma geral, não houve sucesso na tentativa de realizar uma transferência modal em função de não ter sido realizada uma campanha de marketing eficiente.

Noland & Quddus (2006) avaliaram se aumentos na capacidade das vias diminuem a emissão de gases, em virtude da diminuição do “arranca e para”, bem como dos congestionamentos, ou se o efeito é o contrário, isto é, se não há um aumento da emissão em virtude do incremento de tráfego induzido pela melhoria no fluxo de tráfego. Avaliando os resultados do aumento de capacidade numa via, para o mesmo fluxo, verifica-se, para todas as composições simuladas de frota, uma diminuição nos índices de emissão de gases, conforme esperado. No entanto, essa redução é

rapidamente anulada devido ao fato de a melhora nas condições de tráfego atrair novos fluxos.

Ainda avaliando a influência de elementos que alteram ou controlam o tráfego de veículos, o trabalho realizado por Coelho *et al.* (2006) objetivou avaliar os impactos de rotatórias no que diz respeito à emissão de poluente. De forma geral rotatórias aumentam a emissão de poluentes, visto que há uma necessidade de operação não natural do veículo na mesma, com variação de velocidade, marcha, “arranca e para”, etc.

Já uma pesquisa que teve como objetivo avaliar os impactos de se construir uma rodovia em dois cenários diferentes foi realizada por Birgisdóttir *et al.* (2006). O primeiro utilizando materiais convencionais e o segundo utilizando cinzas de um incinerador de lixo na sub-base. Avaliaram-se o consumo de energia e a emissão de poluentes associada. De forma geral o trabalho conclui que os impactos ambientais dos dois cenários são praticamente os mesmos. No entanto, a utilização de cinzas pode comprometer a qualidade das águas subterrâneas.

O trabalho de Lin & Ge (2006) realiza uma pesquisa a partir de um modelo gaussiano de dispersão para estimar emissões de gases provenientes do tráfego e conseqüentemente a qualidade do ar. De forma geral, os resultados apresentados pelo modelo são coerentes e comparáveis a modelos regulares usuais.

O trabalho realizado por Zhang *et al.* (2007) realizou uma pesquisa com base nos modos de transporte urbano na China. Foram elaborados modelos baseados em custo e tempo da viagem, considerando toda divisão modal. A partir dos modelos foram construídos cenários até o ano de 2032, onde se avaliou a variação dessas duas impedâncias ao transporte em todos os modos. Com relação ao tempo de viagem, verifica-se que, de forma geral, a partir de valores maiores que 5% de aumento para os modos de transporte urbano, há um aumento da demanda para os ônibus contra uma queda para o automóvel particular.

Já um estudo feito por Beirão & Cabral (2007) inicia fazendo contextualizações sobre a escolha modal especificamente entre o transporte público e o automóvel particular inferindo que é de suma importância compreender os parâmetros que influenciam na escolha modal dos passageiros para poder tornar os modos de transportes que devem ser incentivados mais atrativos. Foram realizadas pesquisas com usuários cativos do automóvel, ônibus e aqueles que usam os dois modos eventualmente na região do Porto, Portugal. As pesquisas de caráter qualitativo tentaram identificar as

preferências de cada um, o que era mais importante na escolha de um modo de transporte, etc.

Os resultados permitiram elaborar uma lista de vantagens e desvantagens do automóvel e dos ônibus, das quais se destacam como principais vantagens dos ônibus o custo e o fato de não precisar dirigir. Em contrapartida as principais desvantagens elencadas foram perda de tempo, lotação, falta de conforto, necessidade de caminhadas complementares, etc. Com relação ao automóvel, as principais vantagens foram liberdade e independência, conforto, rapidez e segurança. Já as desvantagens citadas foram custo, dificuldade de estacionamento, *stress* de dirigir, entre outros. Além disso, o trabalho sintetizou os parâmetros que motivariam o uso do transporte coletivo, bem como aqueles que são as principais impedências.

Conclui-se que oferecer um serviço de mais qualidade, mais pontual, mais rápido e com informações mais precisas sobre horários e itinerários são os aspectos que mais podem influenciar uma troca modal. Do outro lado, os longos tempos de viagem, necessidade de caminhadas e transbordos e falta de conforto são os principais parâmetros que se tornam impedência para o uso do transporte coletivo. Por fim, o estudo conclui que apenas melhorar o nível de serviço do transporte público não é suficiente para atrair usuários do automóvel. É necessário também melhorar a imagem do sistema de transporte, na visão dos usuários.

Outro trabalho realizado por Zhang *et al.* (2007) teve como objetivo desenvolver um modelo otimizado de divisão modal. O modelo foi feito para viagens inter e intra-municipais. Foram considerados parâmetros como tempo e custo de viagem. De forma geral, os resultados mostram que a proporção de automóveis deve aumentar para 29% em 2032 em viagens urbanas. Os modos metrô e ônibus também terão aumento, contra uma diminuição dos modos a pé e bicicleta. Os resultados ainda mostram que a transferência modal urbana é mais difícil de ser realizada. No entanto, é bastante sensível a alterações no custo e tempo de viagem de cada um dos modos.

Já o trabalho realizado por Casello (2007) analisou os impactos de uma alteração na divisão modal através de incentivos ao transporte público e desincentivos ao transporte individual particular. Foi desenvolvido um modelo multimodal para estimar a repartição modal em função de pares de origens e destinos, bem como dos custos das viagens. Foram avaliados, através do modelo, os impactos de se estimular o transporte coletivo e desestimular o transporte privado. O trabalho concluiu que políticas de

estímulo ao transporte coletivo contra um desestímulo de automóveis particulares são necessárias para aumentar a eficiência do sistema.

O trabalho realizado por Peeters *et al.* (2007) teve como objetivo avaliar os impactos na qualidade do ar das viagens realizadas na Europa com motivo exclusivo de turismo. As conclusões preliminares apontaram para o automóvel como principal responsável pela emissão de gases (CO_x e NO_x), sendo o responsável pela maior parcela dentre os modos avaliados (87%).

Já o trabalho desenvolvido por Diana *et al.* (2007), focado na importância do sistema de transporte público na qualidade do ar, realizou uma pesquisa através da aplicação de um modelo para estimar poluição considerando diversos cenários de sistema viário, qualidade do serviço e demanda. Os resultados indicam que há uma diminuição no total de emissões para transportes de alta qualidade e cenários de baixa demanda. O trabalho ainda avalia e recomenda a utilização de veículos menores (vans) como forma de obter ganhos referentes à qualidade do ar.

Uma pesquisa referente a possibilidades de minimizar as emissões de gases foi realizada por Haller *et al.* (2007) avaliando os impactos em termos financeiros e ambientais referentes à conversão de 50% dos veículos da frota pública de um órgão gestor para utilizar mais de um combustível. De forma geral, verifica-se que, avaliando a relação custo benefício, as reduções na emissão de gases é pouco significativa.

Outra pesquisa referente à divisão modal foi feita por Ahern & Nigel (2008). Este estudo teve como objetivo avaliar os principais fatores que influem na decisão pelo modo ônibus ou trem, por parte dos usuários na Irlanda. Foram aplicados diferentes tipos de questionários, incluindo técnica de preferência declarada. As conclusões do estudo mostraram que os parâmetros que têm mais importância são o custo e o tempo de viagem. Diferentemente do esperado na pesquisa, não existe preferência pelo modo trem sendo que o motivo mais provável para essa conclusão é devido à má qualidade deste serviço naquele país.

Outro trabalho focado em qualidade do ar foi feito por Boriboonsomsin & Barth (2008) com o objetivo de avaliar a diferença de emissão de gases em dois tipos de faixas exclusivas para veículos com alta ocupação. Os resultados mostram que as faixas que possuem acesso contínuo são, de forma geral, menos poluentes.

Verificam-se pesquisas em diversos âmbitos das emissões de gases por veículos. Neste contexto, Rutherford & Ortolano (2008) avaliam os efeitos de uma regulamentação implantada em Tóquio referente às emissões de caminhões e ônibus a

diesel. Foi utilizada uma modelagem empírica que mostrou que, através da implantação de filtros de partículas e catalisadores nos veículos, foi possível obter reduções de até 30% no total de material particulado. Ainda foram verificadas reduções menos expressivas nas emissões de óxidos nitrosos.

Deixado por último, o trabalho realizado por Romilly (1999) teve como objetivo avaliar as implicações econômicas em função das emissões de gases por carros e ônibus como modos de transporte em centros urbanos. É realizada uma simulação sobre a troca de utilização dos dois modos (ônibus para carros) considerando as taxas médias de ocupação veicular (carro e ônibus) encontradas usualmente em centros urbanos. De forma geral o estudo mostrou que a substituição de ônibus por automóveis implica em reduções nos custos com congestionamentos, mas aumenta em relação às emissões de gases considerando valores altos para a taxa de ocupação dos ônibus.

Verifica-se que, de uma forma geral, este último trabalho apresentado vai ao encontro com o tipo de trabalho que se tem procurado. Ou seja, publicações que sejam no âmbito de avaliar impactos ambientais de alterações na divisão modal. No entanto, o foco do mesmo foi muito superficial e voltado para questões econômicas. O próprio autor diz que o intuito do trabalho é chamar a atenção de pesquisadores para realização de trabalhos no mesmo âmbito.

Por fim, no processo de investigação sobre a abordagem dada a impactos ambientais de sistemas de transporte realizou-se uma vasta revisão sobre todos os trabalhos encontrados sobre o tema, da qual a conclusão é que a maioria das pesquisas é voltada para a questão da poluição atmosférica, pouco ou nada foi encontrado sobre impactos em níveis sonoros.

2.13 Considerações Finais

De forma geral, a presente pesquisa permite inferir que existe significativo número de publicações sobre o tema ruído de tráfego urbano, no entanto a quantidade de publicações com o objetivo específico de verificar impactos ambientais de possíveis alterações na divisão modal em centros urbanos é pequena e pouco expressiva (conforme visto no presente capítulo). Poucos trabalhos têm essa ênfase específica. Além disso, algumas pesquisas encontradas que têm alguma relação com este tema, mesmo que não diretamente, quase sempre enfocam a questão de emissão de poluentes, raramente de ruído.

A única analogia que se encontrou de pesquisas relacionadas com a avaliação de impactos ambientais em função de alterações da divisão modal, através de simulações foi o trabalho feito por Romilly (1999). No entanto, o foco do trabalho foi sobre impactos econômicos com foco em indicadores de emissão de gases. De qualquer forma vale salientar que as conclusões do trabalho são bastante superficiais, conforme mesmo explanado pelo autor.

Dessa forma, as suspeitas que motivaram o presente trabalho aparentam ser comprovadas, ou seja, pouca ou nenhuma importância tem sido dada às implicações nos níveis de ruído nos centros urbanos em função de alterações na divisão modal, o que abre um possível campo de pesquisa, visto os significativos malefícios causados à saúde humana em função da poluição sonora.

Logo, é possível inferir que o propósito do presente trabalho pode fornecer uma contribuição relevante no que diz respeito ao controle de ruído em centros urbanos. A alteração da divisão modal caracterizaria um tipo de controle ainda na fonte, o que, segundo Beranek (1971), é a forma mais eficaz de atenuar o ruído.

3 Metodologia de Trabalho

Este capítulo tem por objetivo contextualizar a metodologia de trabalho, bem como descrevê-la para contemplar os objetivos propostos (já apresentados) do presente trabalho, referente à coleta e análise de dados, equipamentos e *softwares* necessários, referências normativas, modelagem, aplicação e procedimentos adicionais.

A metodologia proposta, e descrita nos próximos itens, tem a finalidade de conceber os procedimentos e passos necessários para tornar possível a identificação dos impactos nos níveis sonoros em centros urbanos, provenientes de ações bem sucedidas de gerenciamento da mobilidade (o que altera diretamente o número e tipo de veículos em circulação e conseqüentemente a relação entre volume e capacidade, etc), embasada em parte nas conclusões obtidas a partir do capítulo anterior.

Em outras palavras, apresentar-se-á a seguir os procedimentos necessários para o desenvolvimento desta pesquisa e para responder, primordialmente, à seguinte pergunta: *“Tendo um número de viagens fixo, quais são as alterações nos níveis de ruído em vias urbanas através da alteração da divisão modal das viagens de passageiros, considerando ainda os efeitos na operação do tráfego?”*

3.1 Coleta de Dados

3.1.1 Pontos de Medição

As vias escolhidas foram, a priori, vias com grande capacidade e demanda de tráfego que componham o sistema viário principal do município, apresentando diferentes características de classificação veicular para diversificar as amostras. Além dessas, foram escolhidos dois pontos adicionais para compor situações atípicas, isto é, uma via com alta velocidade média e outra com baixa velocidade e fluxo de tráfego menos significativo.

Essas características visam atender às premissas de análise da relação entre viagens, divisão modal, características operacionais do tráfego e ruído, bem como da calibração de modelo e posterior aplicação.

O objetivo de fazer medições em diversos corredores (com características diferentes) é caracterizar diferentes comportamentos de viagens e composições e de tráfego, de forma a tornar as análises de relação entre ruído e deslocamento de pessoas, bem como o modelo a ser calibrado, mais abrangente, no que diz respeito à

aplicabilidade. As diferentes características geométricas de cada via, tais como largura, uso lindeiro, classificação, etc., também foram consideradas no intuito de tentar inseri-las como variáveis independentes do modelo em questão, caso se mostrem interessantes.

Além dos pontos em corredores normais, realizou-se medições em pontos específicos, onde existe restrição de circulação a algum modo de transporte. Isto é, uma via onde carro particular não circula, por exemplo.

A relevância disto foi contribuir com dados para que o modelo calibrado fosse o mais abrangente e sensível a situações extremas de composição veicular possível. Além disso, pôde ser verificado como é o ruído em locais sem a circulação de automóveis, obtendo assim, indicadores de o que aconteceria caso houvesse uma significativa mudança na divisão modal (transferência de usuários de Carro para deslocamentos por Ônibus) do transporte de passageiros em centros urbanos, por exemplo.

3.1.2 Níveis Sonoros

As medições de ruído foram realizadas de acordo com as recomendações prescritas pela Norma NBR 10151 (ABNT, 2000). O medidor de nível de pressão sonora foi posicionado à altura de 1,20 m do chão e distante no mínimo 1,50 m de paredes e/ou superfícies que pudessem refletir de alguma forma as ondas sonoras. Utilizou-se esta Norma Técnica como referência por ser a mais adequada e comumente utilizada como parâmetro para ruído urbano no país. Além disso, diversos autores a citam como referência de seus trabalhos (VALADARES, 1997; VALADARES *et al.*, 2003; CALIXTO, 2003, RODRIGUES, 2006, ZANNIN *et al.*, 2002).

Vale salientar que as prescrições desta Norma Brasileira são bastante similares a Normas Internacionais como, por exemplo, a ISO11819-1 "*Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise*". Foram também observadas as prescrições da Lei Municipal número 9.505 de 23 de Janeiro de 2008, que "*dispõe sobre o controle de ruídos, sons e vibrações no Município de Belo Horizonte e dá outras providências*". Neste contexto, a Figura 4.12 mostra o esquema simplificado do posicionamento do medidor de nível de pressão sonora.

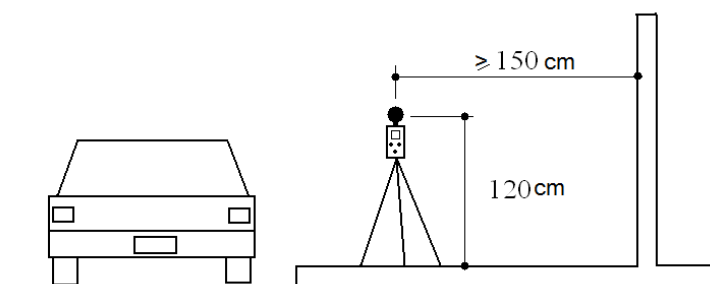


Figura 3-1 – Posicionamento do Medidor de Nível de Pressão Sonora

As medições de ruído foram feitas em dias típicos e em horários diversos, de forma a caracterizar picos e entre picos, além de períodos com baixo volume de tráfego de veículos. Pretende-se dessa fornecer dados suficientes para a discussão da relação entre viagens (variação da divisão modal) e geração de ruído, bem como calibrar um modelo que possua um valor baixo para a variável independente, tornando-o assim apto para ser utilizado tanto em situações de baixos volumes de tráfego, quanto como em situações inversas, conforme já mencionado.

Os períodos de medição foram segregados em três situações distintas, de forma a tornar a amostra diversificada no que diz respeito a volume veicular e níveis sonoros. Ou seja, foram realizadas medições no turno da manhã, no intervalo entre 05:00h e 10:00h, no turno da tarde, entre 16:00h e 21:00h e ainda nos pontos especiais conforme disponibilidades específicas para cada um.

Isto é, foram selecionados pontos com características específicas de restrição a algum modo de transporte. Nestes, a pesquisa teve que ser conciliada com a disponibilidade de apoio. Conforme será melhor descrito em no capítulo de área de estudo, as pesquisas no Expresso Tiradentes em São Paulo tiveram que ser conciliadas com a disponibilidade dos agentes do sistema, de forma que a mesma foi feita no entre pico da tarde, com duração de 3 horas.

Já as pesquisas em Bogotá precisaram contar com a disponibilidade da Universidad de los Andes, que forneceu apoio de pessoal e equipamento, de forma que foram realizadas medições também nos entre picos da manhã e da tarde.

Com isto, caracterizou-se tanto o pico da manhã quanto o da tarde, bem como valores de entre pico e ainda com baixos volumes de tráfego. Este procedimento de realizar medições em faixas de horário maiores, mas que obrigatoriamente contemplem o pico do sistema, se mostrou bastante eficiente e proveitoso, conforme verificado na pesquisa realizada por Rodrigues (2006).

Para a realização das medições foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora do tipo 2. O equipamento, que possui 1,5 dB de precisão, foi programado para coletar dados no modo “Fast” a cada segundo, utilizando a curva de ponderação “A”, conforme recomendações da Norma NBR 10151 (ABNT, 2000). Utilizou-se espuma protetora no microfone para minimizar efeitos do vento, nos locais de medição. O equipamento foi aferido antes e depois de cada medição na frequência de 1000 Hz com o nível de pressão sonora igual a 94 dB para garantir a precisão dos dados coletados em cada ponto.

As medições de ruído, bem como as totalizações de todos os parâmetros mensurados, foram agrupadas em períodos de 15 minutos. No trabalho realizado por Rodrigues (2006) verificou-se que para períodos de muito curta duração a precisão do modelo calibrado é menor e, em algumas tentativas, chega a não ser válido. Para cada um destes intervalos foram obtidos, com o *software* específico do equipamento, os seguintes indicadores:

- Nível Sonoro Equivalente (L_{eq} - Equação 2.4);
- Máximo valor observado;
- Mínimo valor observado;
- Níveis Percentis (L_n).

A Figura 3-2 apresenta uma imagem do *software* de extração de dados do aparelho e um exemplo de gráfico de nível de pressão sonora em função do tempo gerado pelo mesmo.

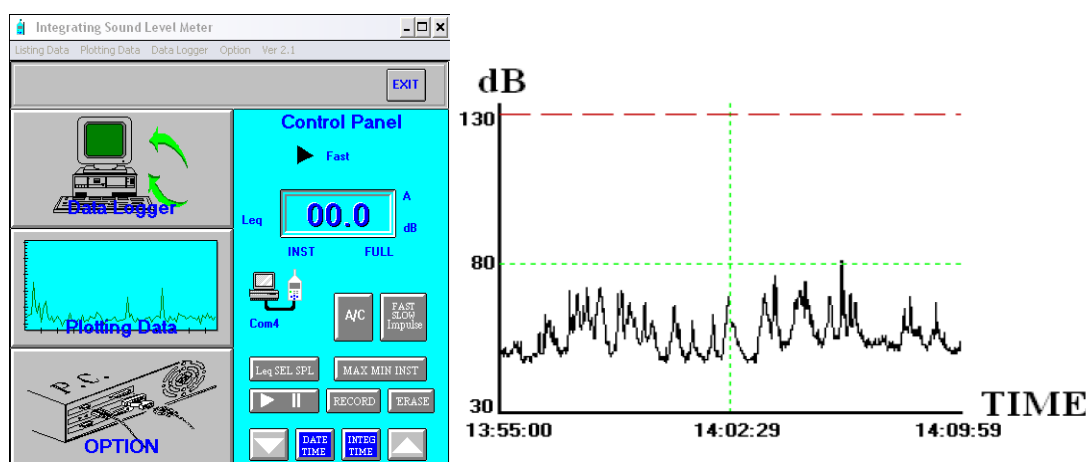


Figura 3-2 – Ilustração do *software* do equipamento utilizado e de um gráfico gerado pelo mesmo

No presente trabalho não foi levada em consideração a influência de variáveis meteorológicas como, por exemplo, velocidade do ar e temperatura. Apesar de esses parâmetros terem influência, acredita-se que suas contribuições são relativamente pequenas no efeito total do ruído, perante diversas outras variáveis independentes que serão consideradas. Além disso, infere-se que outros trabalhos relacionados a ruído obtiveram bons resultados sem também considerar estas variáveis (CALIXTO, 2003, STEELE, 2001, etc).

3.1.3 Inventário Viário

Para cada local onde foram coletados dados de ruído foi também realizado um inventário viário detalhado, para compor a base de dados e avaliar a possível influência destas no ruído presente. Neste contexto coletou-se dados de:

- Número de faixas de tráfego:

A potencialidade deste parâmetro como possível variável explicativa do ruído de tráfego é, de certa forma conflitante. Isto é, uma hipótese é que quanto maior o número de faixas maior pode ser o fluxo de veículos e assim maior será o ruído presente. No entanto, para horários fora do pico, nem todas as faixas terão suas capacidades demandadas totalmente e assim, o maior número de faixas significa que a via é mais larga e, portanto, as edificações que podem refletir as ondas sonoras estão mais distantes entre si, o que contribui para minimizar os efeitos da reflexão.

- Largura total da via (entre edificações):

Pode influenciar na parcela de reflexão do ruído gerado pelos veículos. Quanto maior a distância entre as edificações, menor é o efeito de reflexão. Esta variável pode ser combinada com o fluxo, porém numa relação inversa, conforme explicado posteriormente.

- Distância do medidor ao centro da via:

Caracteriza a distância entre a fonte e o receptor, que influencia diretamente o ruído em função da capacidade absorvedora do ar, isto é, quanto mais distante da fonte, menor será o ruído percebido. Esta variável também pode ser combinada com o fluxo numa relação inversa.

- Distância ao semáforo mais próximo:

Este fator pode interferir na intermitência do fluxo e conseqüentemente nos níveis de ruído.

- Presença de estacionamento:

Veículos estacionados podem funcionar como barreiras dispersoras do ruído nas vias, minimizando a parcela de propagação direta até o receptor.

- Largura do canteiro central:

Pode ter relação com a largura da via, no entanto uma área onde não existe fluxo de veículos, colaborando então positivamente para os níveis de ruído;

- Tipo de pavimento:

Conforme mostrado no item de revisão bibliográfica, diferentes tipos de pavimento (asfalto, concreto, asfalto poroso, etc) têm influência, também diferente, sobre a geração de ruído. A consideração deste fator foi feita através da inserção de uma variável *dummy* como, por exemplo “0” para asfalto e “1” para concreto, em função da maior emissão sonora deste último.

- Rampa:

Vias mais íngremes demandam maiores potências dos motores que por sua vez emitem mais ruído. A consideração desta variável foi feita através de patamares (0, 1, 2, 3), conforme o modelo de Rosse (1975), que considera um incremento de ruído proporcional ao aumento da rampa.

- Presença de vegetação:

Também como mostrado no item de revisão bibliográfica, a vegetação quando em largas faixas, pode ter influência de atenuação sobre o ruído. Como em alguns pontos existe vegetação em menor escala e outros em proporções maiores, este parâmetro foi considerado. Para isso, utilizou-se o software Google Earth para realizar uma medição do total de área de vegetação no entorno dos pontos e, partir destes valores, criou-se patamares proporcionais às áreas variando entre zero (sem vegetação) e dez (significativa área de vegetação no entorno).

- Uso do Solo:

Testou-se esta variável através da classificação do uso do solo limdeiro seguindo a seguinte classificação (será melhor explicada no capítulo de calibração do modelo):

- Predominantemente residencial: 0;
- Residencial e comercial Misto: 1;
- Predominantemente comercial: 2;
- Faixa de domínio de rodovias: 3.

- Hierarquia Viária:

Esta variável foi testada em função do uso real da via, e não necessariamente em função da classificação legal. Isto é, uma determinada via pode ter classificação de arterial mas possuir baixos fluxos. Logo, a classificação real da mesma não é condizente com uma via arterial. Os patamares utilizados, obtidos através de diversos testes de significância em software estatístico específico, são apresentados a seguir:

- Local: 1,5;
- Coletora: 1,75;
- Arterial: 2;
- Ligação regional: 3;
- Especial (só ônibus): 3.

3.1.4 Fluxo Veicular

Este parâmetro foi mensurado classificando o fluxo em motos, automóveis, caminhão e ônibus, com totalizações a cada 15 minutos para cada sentido da via, conforme usual em estudos de tráfego urbano. Foi utilizada prancheta com contadores manuais para as contagens, com formulário específico (Ver em anexo).

3.1.5 Velocidade Média do Fluxo de Tráfego

- Velocidade média do tráfego no local:

Já comprovado por diversos modelos, alguns inclusive mostrados na revisão bibliográfica deste documento, a velocidade tem influência direta na emissão sonora e, portanto, foi mensurada com o auxílio de um radar portátil de mão. Mediu-se separadamente a velocidade média por tipo de veículo, com a mesma classificação das contagens volumétricas e ainda distinguida por sentido da via. O formulário utilizado para anotações das amostras de velocidade pode ser visto em anexo.

3.1.6 Ocupação Média dos Veículos

Esta variável não foi obtida com intuito de ser uma variável independente do modelo e sim para avaliar posteriormente as relações entre ruído por cada modo, geração per capita, ruído x capacidade do sistema, ruído x número de pessoas transportadas, etc, conforme já explanado. A ocupação dos automóveis e motos foi determinada através da observação do número exato de ocupantes, enquanto dos ônibus foi feita por estimativas através de modelos visuais estabelecidos para obtenção da ocupação deste tipo de veículo, conforme EBTU (1988). Os formulários utilizados podem ser vistos em anexo.

3.1.7 Grau de Saturação

Este parâmetro foi mensurado para posterior avaliação com os níveis de ruído e foi obtido de maneira simplificada, através da divisão do fluxo veicular pela capacidade viária considerando cada faixa como 1800 veículos por hora. Foi contemplada ainda a relação entre tempo de verde e tempo de ciclo nas interseções semaforizadas à jusante, que influem diretamente no fluxo de saturação. Para isso, obteve-se junto à BHTrans as programações semaforicas de todas as interseções de interesse no trabalho.

3.1.8 Formação de Fila

A formação de fila foi mensurada através do tempo em que a mesma esteve próxima do medidor de nível de pressão sonora (em minutos a cada 15 minutos), conforme esquematizado na Figura 3-3. Este parâmetro será combinado, e explanado posteriormente, com o grau de saturação como sendo índice de sobredemanda na interseção.

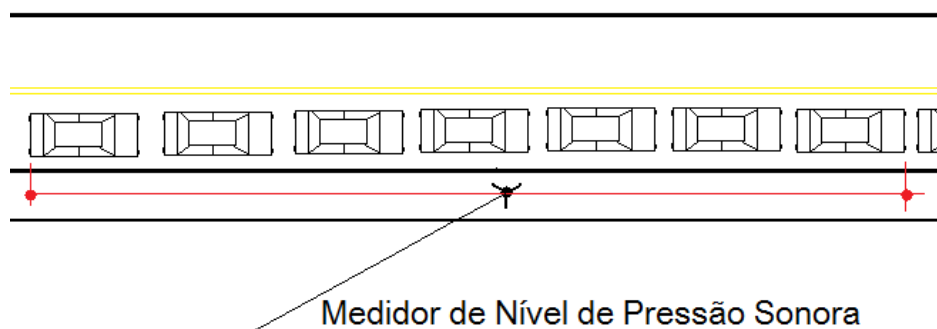


Figura 3-3 – Esquema de medição do tempo de formação de filas

3.1.9 Identificação de Fenômenos Específicos

Também foram identificados todos os fenômenos ruidosos específicos verificados durante as medições. Isto é, anotou-se todo tipo de ruído percebido, bem como o horário, que não tiveram relação com o tráfego e que apresentaram influência naquele intervalo de tempo (15 minutos) para posterior avaliação. Cita-se como exemplo o barulho de água caindo em um bueiro próximo, o alarme de um carro que disparou, pessoas que passaram gritando, etc. Ou seja, ruídos normais da atividade urbana e que nada tem a ver com o tráfego de veículos.

3.2 Tratamento, Apresentação e Discussão dos Dados

Todos os dados coletados foram tabulados inicialmente em planilhas eletrônicas, com o intuito de facilitar o tratamento dos mesmos. Uma vez digitalizados, iniciou o processo de tabulação, onde foram obtidas diversas médias e totalizações. Isto é, os dados de fluxo veicular foram totalizados a cada 15 minutos por tipo e por sentido nos diversos pontos. Já os dados de velocidade média e ocupação média dos veículos foram obtidos em valores médios para cada tipo classificado, por ponto e sentido. As filas foram totalizadas em tempo de formação (minutos) a cada 15 minutos, ou seja, um valor percentual para cada sentido. Os cálculos de grau de saturação também foram feitos para cada 15 minutos, por sentido.

A apresentação destes resultados, feita posteriormente, foi separada por ponto, apresentando os resultados já tabulados dos principais indicadores coletados, essenciais para uma apresentação geral de cada local. Esta forma de apresentação é usual em pesquisas deste tipo, conforme verificado em alguns trabalhos similares (RODRIGUES, 2006, VALADARES, 1997, SILVA & GOLDNER, 1998, etc). Alguns parâmetros são apresentados apenas no capítulo específico de discussão da relação entre ruído e sistemas de transporte urbano ou de calibração do modelo, já que possuem um objetivo primordial muito específico.

Por último, foi feita uma breve e superficial discussão dos níveis obtidos com os valores preconizados pela Legislação Municipal da cidade alvo da coleta de dados verificando assim o quão insalubre os corredores analisados estão no que diz respeito à poluição sonora, apesar de não ser o objetivo específico desta tese.

3.3 Análise da Relação entre Geração de Ruído e Características Operacionais de Sistemas de Transporte

Está sendo proposto realizar uma profunda investigação da relação entre ruído de tráfego urbano e características operacionais do sistema de transporte local, em termos de parâmetros de mobilidade urbana e engenharia de tráfego.

Desta forma, a partir dos dados tratados, um capítulo exclusivo foi dedicado a este propósito, onde foram realizadas diversas análises e testes correlacionando os diversos parâmetros de um sistema de transporte com a potencialidade de geração de ruído, conforme descrito nos itens a seguir.

3.3.1 Análises da Relação entre Ruído e Condições Operacionais dos Sistemas de Transporte

Conforme já apresentado, coletou-se dados de ocupação média dos veículos paralelamente à contagem do tráfego veicular. Com isto foi possível elaborar um banco de dados que fornecesse, para cada intervalo de 15 minutos e por sentido:

- O total de pessoas transportadas;
- O total de pessoas transportadas em automóveis;
- O total de pessoas transportadas em ônibus;
- O total de pessoas transportadas em motos;
- A capacidade disponível em todo sistema;
- A capacidade disponível no modo automóvel;
- A capacidade disponível no modo ônibus;
- A capacidade disponível no modo moto;
- A ociosidade geral do sistema;
- A ociosidade em cada um dos modos de transporte avaliados;
- A variação da divisão modal presente;
- A variação da ocupação média de todos os modos;
- Entre outros.

De posse destas informações realizou-se diversas análises que permitiram verificar se existe, por exemplo, ociosidade no sistema de transporte, de forma que pudesse ser transportado o mesmo número de pessoas utilizando um número menor de veículos, o que poderia ter influência direta nos níveis de ruído. Ou seja, alterando a

divisão modal, utilizando apenas a capacidade ociosa existente, poder-se-ia diminuir o número de veículos em circulação.

Além disso, realizou-se neste capítulo, análises referentes à variação de ruído per capita ao longo do dia, relação entre ruído e velocidade média, ruído e capacidade do sistema, ruído e demanda do sistema, ruído e percentual de utilização dos modos de transporte, ruído e graus de saturação (melhor explanado no item seguinte), entre outros, conforme poderá ser visto e melhor compreendido posteriormente.

3.3.2 Análises da Relação entre Ruído e Condições Operacionais da Via (Grau de Saturação)

Uma das contribuições que se julga mais válida no presente trabalho é a análise que foi feita relacionando ruído gerado e grau de saturação. Em engenharia de tráfego, esta é uma relação bastante usual, e que reflete de certa forma a utilização da capacidade da via. Este parâmetro relaciona basicamente a demanda de tráfego, em termos de volume de veículos, com a capacidade da via, no trecho em análise. O mesmo pode, muitas vezes, indicar se a via opera próximo à capacidade, o que implica diretamente na formação de filas, baixa velocidade, alta densidade do fluxo veicular, entre outros.

Neste contexto, até onde se sabe, a tentativa de analisar a influência deste parâmetro em relação à geração de ruído é inédita. Avaliou-se nesta tese uma possível relação entre os níveis de ruído e o grau de saturação de uma via devido ao fato que um alto valor para este parâmetro pode indicar um significativo volume de tráfego, mas ao mesmo tempo uma baixa velocidade média do fluxo. Por outro lado, também pode indicar uma baixa capacidade da via (frente à demanda). De qualquer forma, independente da situação, a operação do tráfego estaria em fluxo forçado (ou próximo dele), o que caracterizaria uma situação atípica de geração de ruído.

A premissa testada é que, da mesma forma que a velocidade de fluxo influi diretamente nos níveis sonoros, conforme atestado já por vários modelos (alguns destes mostrados no capítulo de revisão bibliográfica), um grau de saturação elevado (próximo de 1) pode caracterizar uma situação típica de “arranca e para” com acelerações constantes, o que é potencialmente ruidoso.

Por outro lado, as acelerações aplicadas aos veículos nestas condições são baixas, visto que os condutores vêem que não poderão desenvolver muito os veículos, uma vez que o fluxo parará novamente em pouco tempo. Além disso, a velocidade

média do fluxo em situações como esta é baixa, o que colaboraria positivamente para os níveis de ruído.

Ainda nesta análise, se fosse levado em consideração apenas o fluxo de veículos, a chance do mesmo ser suficiente para explicar o ruído poderia ser pequena. Isto porque, conforme conceitos básicos de engenharia de tráfego, para valores de densidade maiores que a ótima, o fluxo (V em veículos/hora) tende a diminuir, chegando próximo de zero para a densidade crítica (d_c em veículos/km), conforme ilustrado na Figura 3-4. No entanto, mesmo que o fluxo seja pequeno, a quantidade de veículos presente no local (volume) é significativa.

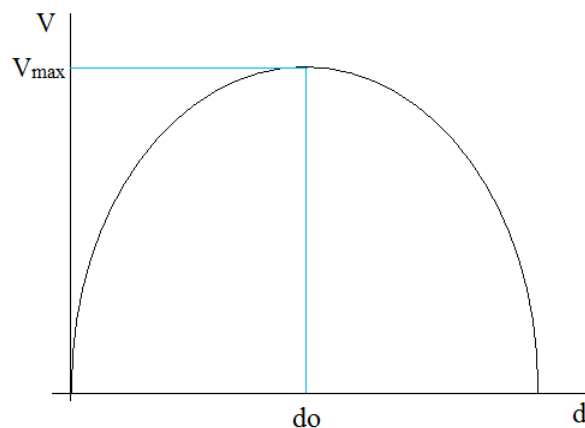


Figura 3-4 – Relação entre volume (V em número de veículos) e densidade de fluxo (d em número de veículos por unidade de comprimento)

Ou seja, em vias congestionadas existem fatores que concorrem positivamente (baixa velocidade média) e outros negativamente (elevado número de veículos presentes) para os níveis de ruído.

Outra relação que instiga a análise desta situação atípica de ruído de tráfego (congestionamentos) é mostrada a seguir. A Figura 3-5 apresenta a relação entre velocidade de fluxo (v em km/h) e densidade (d em veículos/km). Para a densidade crítica (d_c), a velocidade (v) tende a zero.

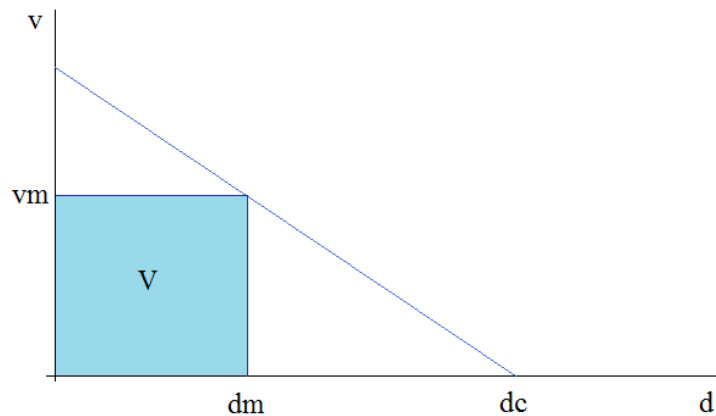


Figura 3-5 – Relação entre velocidade (v em km/h) e densidade de fluxo (d e número de veículos por unidade de comprimento)

Isto é, um parâmetro que implica no aumento de ruído (velocidade), diminui à medida que aumenta outro parâmetro (número de veículos presentes em determinado trecho) que também implica no aumento de ruído. Logo, pretendeu-se com esta análise, responder se com isto o ruído permanece constante, ou sofre variações para mais ou para menos.

3.3.3 Procedimento Adicional para Análise da Correlação entre Ruído e Grau de Saturação

Além das análises que foram feitas de forma quantitativa para os diversos pontos de medição, foi realizado um procedimento adicional, cujo foco é uma análise mais qualitativa, que consistiu em realizar um monitoramento dos níveis de ruído com registros fotográficos em um elevado de fluxo livre (sem interrupção por semáforos, ou interseções).

O objetivo deste procedimento foi comparar os níveis de ruído (L_{eq}) obtidos ao longo do dia, com as fotografias tiradas, as quais forneceram uma avaliação qualitativa do grau de saturação do elevado em questão.

Preliminarmente, era de conhecimento do autor desta tese, que todos os dias nos picos da manhã e da tarde ocorriam sobredemandas no elevado escolhido (formação de filas significativas) que caracterizavam o típico fenômeno de congestionamento, com as peculiaridades explanadas no item anterior.

De qualquer forma, a contribuição deste experimento foi basicamente a título qualitativo, visto que não houve contagem do tráfego, além do aparelho de medição ter

sido posicionado distante e em uma situação atípica. No entanto, infere-se que o comportamento do ruído ao longo do dia captado pelo mesmo seria similar ao captado caso o aparelho fosse posicionado mais próximo da via, no entanto com níveis maiores. Porém, a informação mais importante a ser obtida foi a variação dos níveis sonoros com o passar do dia, para posterior comparação com as fotografias, de forma que, para isso, a metodologia empregada foi suficientemente válida.

3.4 Desenvolvimento do Modelo de Predição de Ruído de Tráfego

Conforme visto no item 2.10, os modelos presentes na bibliografia específica não contemplam algumas premissas essenciais para o desenvolvimento da presente tese, especialmente a segregação de ônibus e caminhões dentro de veículos pesados, e a distinção dos dois sentidos da via no modelo. Logo, um dos pontos chave do presente trabalho foi a calibração do modelo que foi, tanto utilizado para investigar os possíveis efeitos de alterações da divisão modal no transporte de passageiros em centros urbanos, quanto aplicado junto ao PlanMobBH para estimativas dos níveis de ruído no município de Belo Horizonte nos diversos cenários analisados.

Em especial, após a calibração de um modelo usual de predição de ruído, utilizou-se de parâmetros específicos de engenharia de tráfego para tornar o modelo mais apto e direto para ser utilizado em tarefas de planejamento de transporte urbano, onde os dados de entrada (no modelo) são número de viagens diárias por sentido, divisão modal, percentual de hora de pico, etc. Ou seja, conforme já mencionado, uma das contribuições desta tese é de alterar a forma usual dos modelos de ruído de tráfego urbano a partir da consideração do deslocamento de pessoas, primordialmente.

Fato que merece destaque é que, devido à demanda de viagens variar muito nos sentidos de tráfego ao longo do dia, todas variáveis possíveis foram testadas por sentido, segregando em sentido adjacente ao posicionamento do medidor de nível de pressão sonora (AD) e sentido oposto ao medidor de nível de pressão sonora (OP).

A título de facilitar a compreensão da metodologia específica realizada para calibrar o modelo em questão, apresenta-se na Figura 3-6 todos os passos necessários para chegar ao modelo de predição de ruído em função de parâmetros básicos de planejamento de transportes (deslocamentos de pessoas, divisão modal, etc).

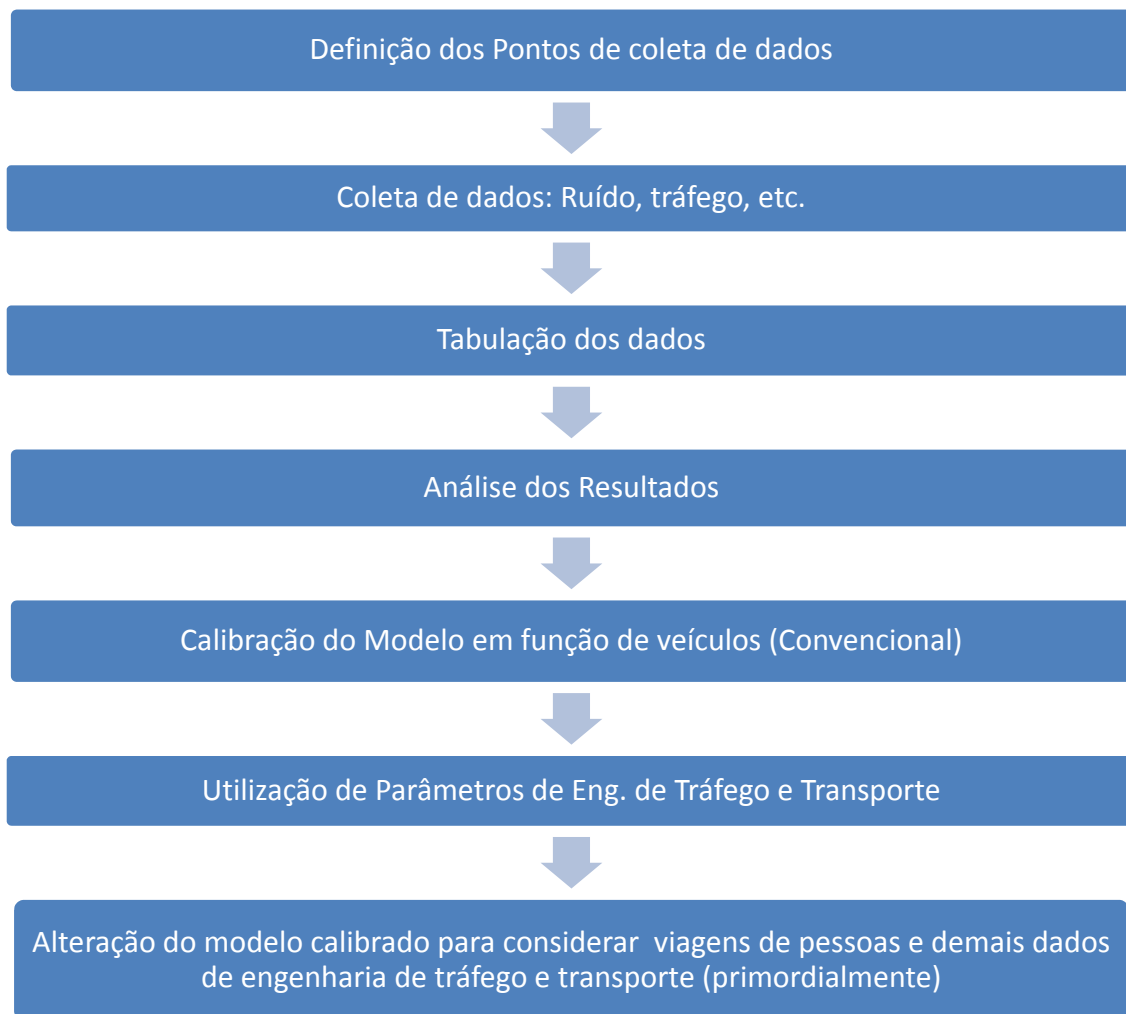


Figura 3-6 – Organograma dos procedimentos utilizados para calibrar o modelo

Um esquema geral do modelo calibrado e alterado para servir como ferramenta básica de planejadores de transporte pode ser visto na Equação 3.1:

$$R = f(P, \%UA, \%UO, \%UP, \%UM, \%UT) \quad 3.1$$

Onde:

- R é o ruído presente;
- P é o número de pessoas a serem transportadas;
- %UA é o percentual de usuários que usam automóveis;
- %UO é o percentual de usuários que usam ônibus;
- %UP é o percentual de usuários que locomovem à pé;
- %UM é o percentual de usuários que usam motocicleta;
- %UT é o percentual de usuários que usam outros modos com inexpressiva geração de ruído.

Devido ao fato do ruído ser uma variável do tipo aleatória, o mesmo foi tratado estatisticamente. Para isso, a NBR 10151 (ABNT, 2000) estabelece como parâmetro de descrição do ruído ambiental o Nível Sonoro Equivalente (L_{eq}). Neste contexto, o modelo de predição de ruído de tráfego urbano calibrado no presente trabalho (para predição do L_{eq}), foi do tipo estatístico, utilizando a teoria de regressão linear múltipla, cuja formulação matemática é mostrada na equação 3.2:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon \quad 3.2$$

Onde:

- Y é a variável dependente a ser estimada;
- β_0 é a constante do modelo;
- β_n são os coeficientes;
- x_n são as variáveis independentes e;
- ε são variações aleatórias.

Salienta-se que essa metodologia tem sido adotada por diversos autores brasileiros no desenvolvimento de modelos de previsão de ruído tais como Silva & Goldner (1998), Reis & Faria (2000), Calixto *et al.* (2003), Valadares & Suyama (2003), Alves Filho *et al.*, (2004), Rodrigues (2006), Rodrigues *et al.* (2007b), Rodrigues *et al.* (2008), entre outros. Autores estrangeiros também utilizam e referenciam esta metodologia para calibração de modelos de predição de ruído de tráfego (STEELE, 2001; PAMANIKABUD & VIVITJINDA, 2002; CAN *et al.*, 2008).

No entanto, nem todas variáveis explicativas do ruído possuem comportamento linear. Portanto, foi preciso aplicar técnicas de linearização de variáveis para torná-las compatíveis de alguma forma com o comportamento do ruído. Em específico, salienta-se que a escala decibel é logarítmica, o que implica em rotineiras transformações dos dados para esta escala. Além disso, foram testadas em algumas variáveis também de forma alterada, verificando outros comportamentos senão o linear como, por exemplo, velocidade média ao quadrado, ao cubo, etc. Explicações mais detalhadas e precisas serão apresentadas no capítulo de calibração do modelo.

3.4.1 Análise das Variáveis Independentes

Para calibração do modelo, foram testadas diversas variáveis independentes, em diversas configurações possíveis. Conforme visto no capítulo de revisão bibliográfica pode-se inferir que o ruído é função de diversos parâmetros, que constituem um número significativo de parcelas. Um modelo genérico que expressa a composição das várias parcelas do ruído em vias de tráfego (urbano) misto pode ser visto na equação 3.3:

$$R = f(Q_m, D) \quad 3.3$$

Onde:

- R é o ruído total;
- Q_m é o ruído proveniente dos diversos tipos de veículos e pode ser expresso por:

$$Q_m = \sum_{i=1}^n P_i \cdot V_i \quad 3.4$$

Onde:

- P_i é a potência sonora dos veículos do tipo i ;
- V_i é o fluxo de veículos de classificação i .

A variável D , na equação 3.3 representa todas as demais variáveis independentes passíveis de serem explicativas do ruído de tráfego urbano. Dessa forma, no processo de calibração do modelo no presente trabalho verificou a correlação com uma série de parâmetros potencialmente explicativos, conforme pode ser visualizado na equação a seguir:

$$L_{eq} = f(Q_l, Q_c, Q_b, Q_m, GS, v, f, n_f, l_v, D_m, v_g, r, tp, U_s, H_v, L_{cc}, D_{Sem}, E) \quad 3.5$$

Onde:

- Q_l, Q_c, Q_b, Q_m são, respectivamente, o fluxo de veículos leves, caminhões, ônibus e motocicletas (veículos/hora);
- GS é o grau de saturação da via (%);
- v é a velocidade média do fluxo (km/h);
- f é o tempo em que houve formação de filas no ponto de medição (min/min);
- n_f é número de faixas de tráfego;
- l_v é a largura da via, considerando as edificações lindeiras (m);
- D_m é a distância entre a fonte e o medidor (m);
- v_g é a presença de vegetação;
- r é rampa (m/m);

- tp é tipo de pavimento (asfalto, concreto, etc);
- U_s é a classificação do uso do solo lindeiro;
- H_v é hierarquia viária;
- L_{cc} é largura do canteiro central;
- D_{sem} é distância até o semáforo mais próximo;
- E é a presença de estacionamento.

Algumas dessas variáveis possuem relação direta umas com as outras e dessa forma se fossem utilizadas juntas em um mesmo modelo poderiam caracterizar o fenômeno de variáveis independentes com alta correlação entre si, o que é extremamente indesejável em calibração de modelos estatísticos por regressão linear. No entanto, a avaliação de todas foi realizada para verificação de qual possui maior correlação com o ruído em si, para então, serem descartadas as demais.

É importante salientar que um modelo é tão bom quanto maior for sua precisão e mais simples o mesmo for, principalmente no que diz respeito a dados de entrada. Portanto, infere-se que, apesar de serem testadas diversas variáveis, o objetivo aqui proposto foi o de calibrar um modelo preciso, porém utilizando o menor número possível de variáveis independentes (dados de entrada).

Ainda com relação às variáveis independentes, uma vez que o modelo precisava ser apto a simular diferentes configurações de divisão modal, e que o modo ônibus tem significativa participação no transporte coletivo urbano por todo mundo, alterou-se a forma de considerar veículos pesados no modelo, segregando-os. Esta segregação, entre ônibus e caminhões, aparenta ser também uma pequena contribuição de procedimento inédito da tese, visto que, de forma geral, os modelos encontrados na literatura classificam-nos somente como veículos pesados.

É importante destacar que diversas variáveis são correlacionadas entre si, em função dos conhecimentos prévios do comportamento acústico das ondas sonoras e sua relação com o tráfego veicular. Por exemplo, o ruído é proporcional à velocidade do fluxo e inversamente proporcional à distancia entre a fonte e o receptor. Dessa forma, foram testadas, algumas relações, conforme exemplificado a seguir, e melhor descrito no capítulo de calibração do modelo.

$$y = \log\left(\frac{V}{d}\right) \quad 3.6$$

Onde:

- y é a variável composta a ser verificada a correlação com o nível de ruído;
- V é velocidade média do fluxo;
- d é a distância entre a fonte e o receptor.

Para calibração do modelo e realização das análises estatísticas necessárias foi utilizado o software *SPSS Statistics 17.0*. O software é um pacote estatístico com diversas ferramentas para calibração de modelos, análise de correlação, validação, testes de confiança, etc. Com o auxílio do software problemas como, por exemplo, alta relação entre variáveis independentes são resolvidos facilmente, visto que o software elimina-as ou aponta o caso, sem a necessidade de se elaborar uma matriz de correlação estatística, procedimento comum em processos de calibração manual.

3.4.2 Validação Estatística do Modelo

Para verificar a significância do modelo estatístico, foram utilizados como parâmetros de validação o coeficiente de determinação estatística R^2 , o erro padrão de estimativa, os testes “F” e “t-Student”, a comparação entre os resíduos de cada estimativa, bem como a análise de frequência dos erros de estimativa variando entre 0 e 3 dB, para mais ou para menos.

Todos estes dados foram facilmente obtidos a partir da saída de dados do software, conforme ilustrado na Figura 3-7.

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Change Statistics				
					R Square Change	F Change	df1	df2	Sig. F Change
1	,908 ^a	,825	,819	1,36188	,825	137,899	10	292	,000

a. Predictors: (Constant), HierarquiaVia, DistMedCentroVia, LnBusAD, LNVelocidAD, LnPercentPesado, LnBUSOP, LnVelocidOP, LnMotoTotal, LnAutoAD, LnAutoOP

b. Dependent Variable: Leq

Figura 3-7 – Ilustração de uma das saídas de dados do software SPSS

3.5 Aplicação do Modelo de Predição Junto ao PlanMobBH e Demais

3.5.1 PlanMobBH

Conforma já mencionado, oportunamente, o trabalho desenvolvido nesta tese teve uma aplicação prática paralelamente a seu fechamento. Isto é, o modelo calibrado para análise da geração de ruído a partir do comportamento das viagens diárias em um centro urbano foi aplicado nos estudos de planejamento da mobilidade que estavam sendo realizados paralelamente à conclusão deste trabalho.

Desta forma, com a contribuição dada por esta tese foi possível apresentar como será o ruído nos diversos cenários analisados no PlanMobBH.

Foram obtidos neste trabalho os dados para os seguintes cenários de simulação (LOGIT, 2010):

- Rede Atual x Matriz OD e Divisão Modal Atual;
- Rede Atual x Matriz OD e Divisão Modal 2014;
- Rede Proposta BHTrans x Matriz OD e Divisão Modal 2014;
- Rede Copa do Mundo x Matriz OD e Divisão Modal 2014;
- Rede Atual x Matriz OD e Divisão Modal 2020;
- Rede Proposta BHTrans x Matriz OD e Divisão Modal 2020;
- Rede Copa do Mundo x Matriz OD e Divisão Modal 2020;
- Rede Futura com Restrição de Investimento x Matriz OD e Divisão Modal 2020;
- Rede Futura com Investimento Pleno x Matriz OD e Divisão Modal 2020.

Para realizar esta aplicação, utilizou-se os dados da divisão modal e os demais parâmetros para obter os níveis de ruído médios estimados para a situação atual. A partir daí, usou-se os dados do PlanMobBH de divisão modal, velocidade média etc., para estimar qual seria a variação média de ruído em todos os cenários propostos.

Com estes resultados, a BHTrans pode complementar seu plano, apresentando os resultados de variação de ruído para os cenários avaliados neste trabalho, procedimento este que não seria possível com essa precisão sem os produtos gerados com a presente tese.

Por último, salienta-se que, além da aplicação realizada instantaneamente com a conclusão dessa pesquisa, de posse do modelo calibrado, bem como das diversas análises realizadas sobre a relação de geração de ruído com sistemas de transporte, foi

possível estabelecer uma ferramenta que permite estudar qualquer configuração de divisão modal e verificar em termos macro nos centros urbanos qual será o nível de ruído nos diversos corredores e vias de tráfego.

Maiores detalhes deste procedimento serão vistos no capítulo de aplicação do modelo.

3.5.2 Simulações a Partir das Condições Operacionais do Sistema de Transporte

O modelo calibrado também foi aplicado para situações hipotéticas. Isto é, a partir das conclusões sobre ociosidade no sistema de transporte, aplicou-se o mesmo através de alterações na configuração da divisão modal de forma a se identificar a diminuição do número de veículos em circulação bem como as interferências nisto nos outros parâmetros de engenharia de tráfego que poderiam causar alguma alteração nos níveis de ruído.

Esta aplicação foi feita através dos resultados obtidos com a coleta de dados, utilizando-se da ociosidade relativa identificada nos modos de transporte através de um rearranjo do número de veículos em circulação, bem como a divisão modal presente, de forma a manter constante o número de pessoas transportadas. Dessa forma, responder-se-á a uma questão importante, a saber, *“Quais seriam os impactos nos níveis de ruído em centros urbanos a partir de uma bem sucedida ação de gerenciamento da mobilidade que fizesse com que usuários do automóvel migrassem para o transporte coletivo, diminuindo assim o número de veículos em circulação?”*

Maiores detalhes deste procedimento também serão vistos no próprio capítulo de aplicação do modelo.

4 Área de Estudo, Materiais e Procedimentos Específicos

4.1 Local Onde Será Realizado o Estudo de Caso

4.1.1 Belo Horizonte

O trabalho proposto no presente documento teve como área de estudo principal a cidade de Belo Horizonte, capital do Estado de Minas Gerais, visto que também foram contempladas as cidades de São Paulo e Bogotá, na Colômbia.

Belo Horizonte foi a primeira cidade projetada do país, inaugurada em 12 de dezembro de 1897. Possui uma área de 331 km² e uma população de 2.412.937 habitantes (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2008).

A cidade que foi inicialmente planejada dentro da Avenida do Contorno rapidamente extrapolou os limites pré-estabelecidos, crescendo rapidamente em pouco mais de 100 anos. Ao contrário do planejado e desejado, antes da área interna à Avenida do Contorno e da própria avenida estarem inteiramente implantadas e ocupadas, alguns bairros como Lagoinha, Floresta, Santa Tereza, entre outros, foram criados e ali se instalaram, principalmente, os operários que construíram a cidade. A população em 1912 era de aproximadamente 40.000 habitantes e 70% dela residia na Zona Suburbana e Colônias Agrícolas, fora da área planejada pela Comissão Construtora como Zona Urbana. O principal acesso à cidade era pela ferrovia. O bonde era o transporte popular, e as ligações viárias - ruas Niquelina, Itapecerica e Platina - eram estreitas e tortuosas, contrastando com as largas avenidas da área central. Quase 100 anos depois, no ano de 1995, a população já era de cerca de 2,1 milhões de habitantes. Como resultado da nova Lei de Uso e Ocupação do Solo, de 1986, a verticalização atingiu várias regiões da cidade, concentrando atividades econômicas, incrementando os problemas para o transporte e o trânsito (PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE, 2008). A Figura 4-1 apresenta um esquema do crescimento gradativo da cidade através de manchas de ocupação ao longo dos anos.

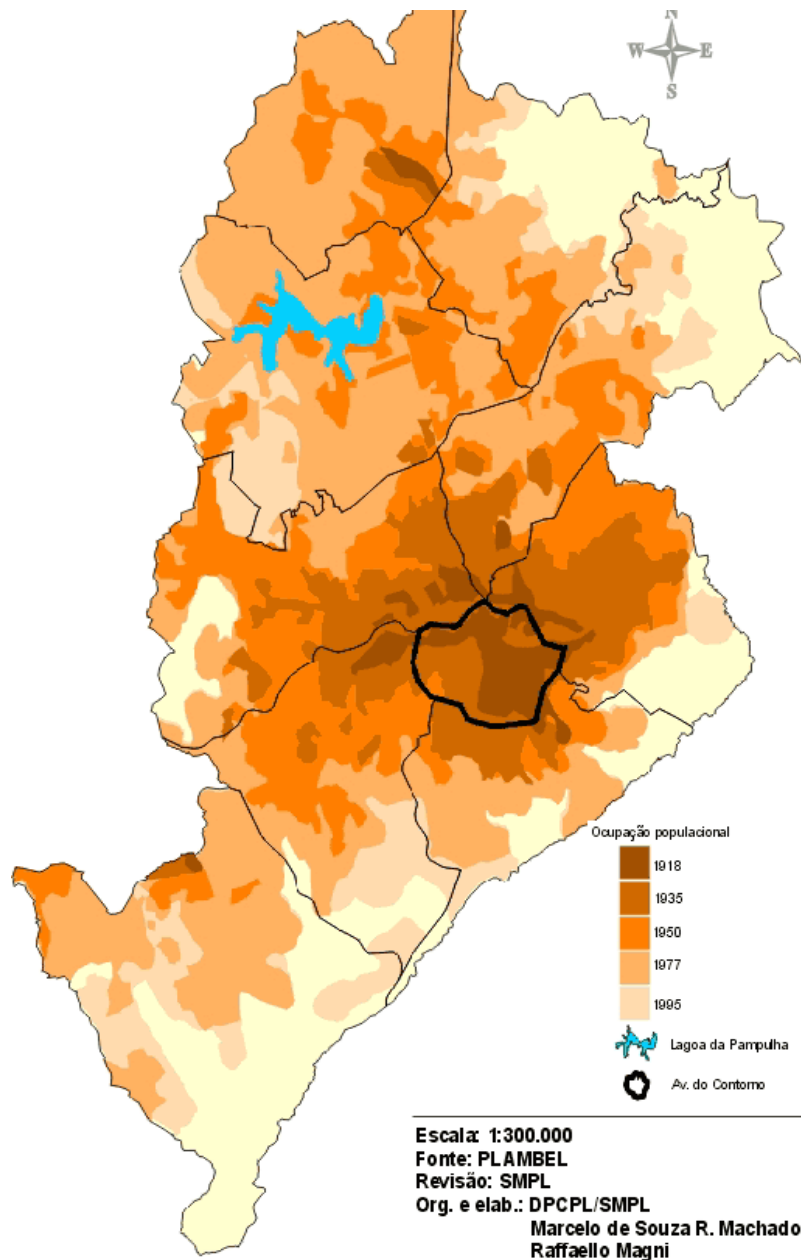


Figura 4-1 – Expansão da cidade de Belo Horizonte ao longo dos anos

Como a grande maioria das cidades com mais de um milhão de habitantes, Belo Horizonte sofre com os problemas de tráfego e transporte público. A configuração de seu sistema viário é do tipo radial, ou seja, os principais corredores de tráfego dão acesso à região central da cidade, o que agrava ainda mais a circulação de veículos na cidade.

Isto porque grande parte do fluxo na região central é de passagem, ou seja, não tem o centro como destino final, mas passa por ali por ausência de outras possibilidades de rotas. Este cenário leva a significativos volumes de tráfego nos principais corredores da cidade, o que por sua vez implica em congestionamentos, atrasos, poluição sonora, atmosférica, visual, entre outros.

No que se refere à poluição sonora, a cidade, e seus equipamentos urbanos, já foi alvo de diversos estudos, dentre os quais destacam-se as publicações de Valadares (1997), Pimentel-Souza (2000), Valadares *et al.* (2003), Rodrigues *et al.* (2006a), Rodrigues *et al.* (2006b), Rodrigues *et al.* (2008), Rodrigues *et al.* (2010), entre outras.

Neste contexto, o que se verifica é que, de forma geral, os níveis de ruído em diversos pontos da cidade, bem como equipamentos urbanos tais como terminais de transporte coletivo, estão acima do que é recomendado, seja por Normas Técnicas, seja pela Legislação Municipal, especialmente nos turnos vespertino e noturno.

Diante disso, bem como dos objetivos apresentados no início deste documento, vários corredores da cidade foram utilizados para coleta de dados. As referidas vias estão ilustradas na Figura 4-2 (em vermelho) e listadas em seguida.

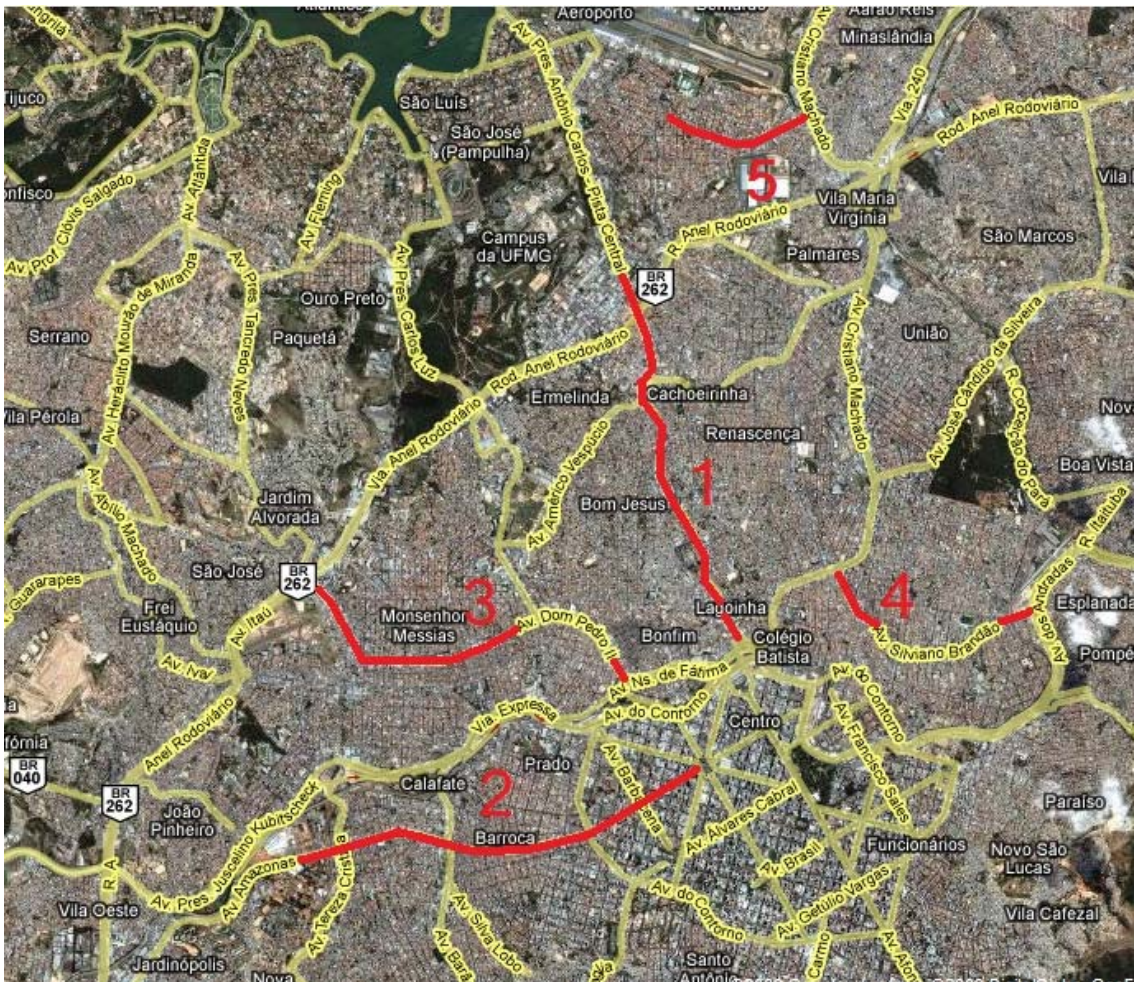


Figura 4-2 – Parte do sistema viário da cidade de Belo Horizonte e vias utilizadas na coleta de dados

Além destas vias (descritas posteriormente), foram realizadas medições ainda na Linha Verde (MG050), conforme apresentado na Figura 4-3 (ponto adicional com intuito de mensurar velocidades médias maiores).

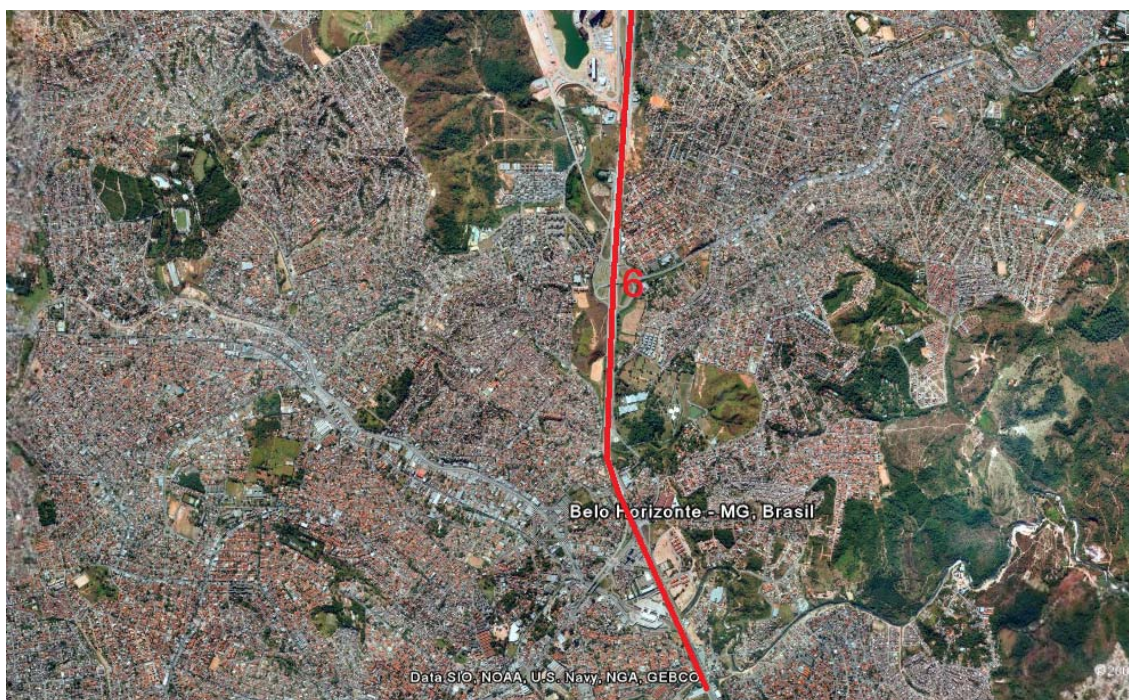


Figura 4-3 – Linha Verde: Ponto adicional de medição

1. Av. Presidente Antônio Carlos: esta via possui em parte de sua extensão, pistas exclusivas para ônibus, sendo que as mesmas estão sendo ampliadas até a região central da cidade, preparação motivada também pela Copa de 2014, em função da conexão com o estádio de futebol da cidade (Mineirão);
2. Av. Amazonas: esta via possui em alguns trechos faixa preferencial para ônibus e também possui elevado fluxo, tanto do tráfego misto, como de transporte coletivo. É a principal conexão com a região oeste da cidade e ainda com as rodovias com destino à São Paulo e ao Triângulo Mineiro;
3. Av. Dom Pedro II: esta via não possui nenhuma priorização para o transporte coletivo, mas é uma importante artéria de conexão com a porção noroeste da cidade;
4. Av. Silviano Brandão: esta via é de ligação transversal, isto é, não passa pela região central da cidade. A mesma apresenta um número relativamente pequeno de linhas de ônibus e menores fluxos se comparados às outras vias em estudo.

5. Av. Sebastião de Brito: está via, apesar de ser classificada como via arterial, opera na prática como uma coletora de bairros da região nordeste conectando-os à Av. Cristiano Machado, importante corredor de tráfego da cidade. A via possui volume de tráfego menores se comparada à todas as outras vias contempladas.
6. Rodovia MG010 (Linha Verde): esta via, apesar de estar inserida na malha urbana, é uma rodovia estadual que liga o município de Belo Horizonte à cidade de Lagoa Santa, entre outras. Possui tráfego significativo, velocidade elevada e fluxo de ônibus do sistema de transporte coletivo municipal mediano.

A Figura 4-4 e a Figura 4-5 apresentam a localização dos pontos de medição na Cidade de Belo Horizonte, bem como a nomenclatura deles que foi utilizada nos itens seguintes (um zoom mais próximo será apresentado por ponto posteriormente).

É um total de onze pontos distribuídos nas seis vias selecionadas, com diferentes características físicas, de volume e de classificação veicular, conforme sucintamente descrito a seguir.

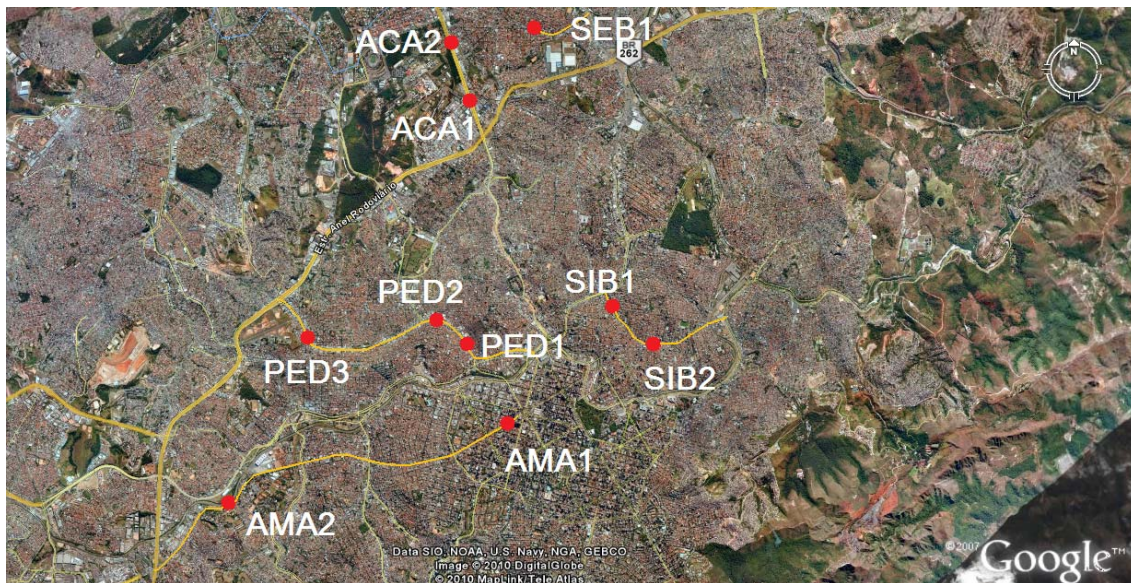


Figura 4-4 – Pontos de medição nas avenidas selecionadas

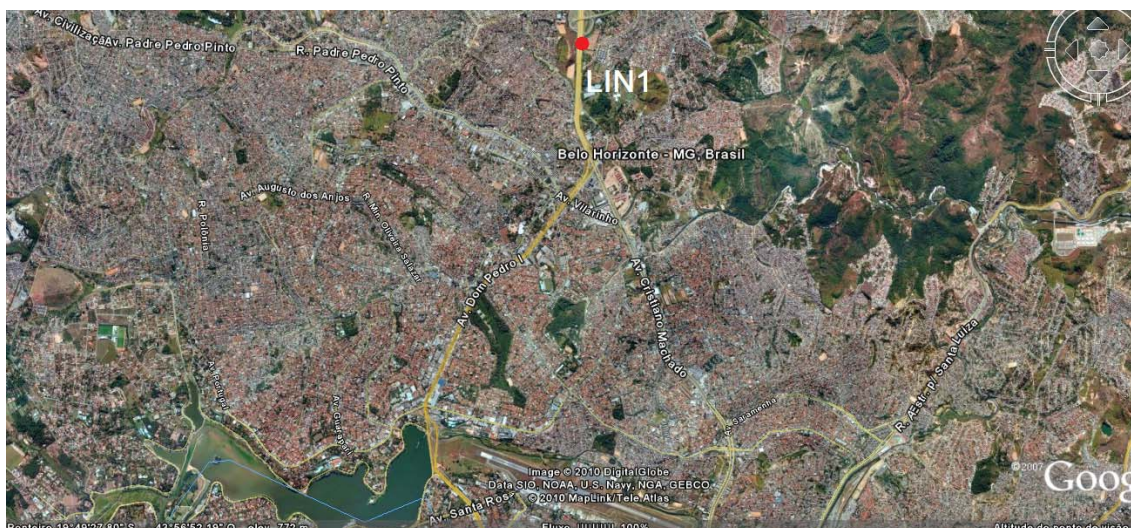


Figura 4-5 – Pontos de medição nas avenidas selecionadas

4.1.2 ACA1: Avenida Presidente Antônio Carlos

O ponto ACA1 é próximo à Rua Estoril. No local há três faixas de tráfego misto mais duas faixas exclusivas de ônibus por sentido (busway). Existe ainda um *taper* de conversão para uma das pistas centrais exclusivas para ônibus, bem próximo do ponto. A sinalização horizontal e o pavimento no local estão em bom estado de conservação. O ponto não possui rampa, mas está localizado bem próximo a uma (ver Figura 4-6). Com exceção de um muro do lado onde foi instalado o equipamento, as edificações no local são recuadas, contribuindo para minimizar o efeito da reflexão no local.



Figura 4-6 – Ponto 1: Av. Presidente Antônio Carlos

4.1.3 ACA2: Avenida Presidente Antônio Carlos

Este ponto é próximo ao campus da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), quase esquina com a Rua Flor de Índio. No local, destaca-se que de um lado

da avenida não existem edificações e sim a mata do campus. Essa característica pode contribuir para minimizar o ruído visto que a vegetação no local, devido a significativa extensão, densidade e largura, pode absorver parte do ruído gerado. O trecho possui três faixas mistas mais duas faixas exclusivas de ônibus por sentido e a sinalização horizontal e o pavimento no local estão bem conservados. No lado oposto à mata as edificações também são recuadas e com altura média de 4,5m. A Figura 4-7 ilustra o que foi descrito.



Figura 4-7 – Ponto 2: Av. Presidente Antônio Carlos

4.1.4 AMA1: Avenida Amazonas

Este ponto é próximo da esquina com a Rua Araguari. Possui duas faixas de tráfego misto mais uma faixa preferencial de ônibus por sentido. A sinalização horizontal e o pavimento estão em bom estado de conservação. Das edificações próximas, algumas possuem mais de quatro pavimentos, enquanto a maioria é de até dois pavimentos. A rampa no local é desprezível. A Figura 4-8 ilustra o ponto.



Figura 4-8 – Ponto 1: Av. Amazonas

4.1.5 AMA2: Avenida Amazonas

Este ponto situa-se próximo a um colégio, quase esquina com a Rua Josué Menezes. No local são três faixas por sentido, sendo uma preferencial para ônibus, e ainda uma baía. A rampa no local é desprezível e a sinalização horizontal e o pavimento estão em bom estado de conservação. Com relação às edificações, de um lado tem-se residências de 1 pavimento e muros, do lado da escola há uma grade e um talude gramado. A Figura 4-9 ilustra o ponto.



Figura 4-9 – Ponto 2: Av. Amazonas

4.1.6 PED1: Avenida Dom Pedro II

Este ponto é quase esquina com a Rua Mariana. No trecho são duas faixas de tráfego por sentido e mais uma de estacionamento ao longo da via (longitudinal). A sinalização horizontal e o pavimento estão em bom estado de conservação. As edificações lindeiras são compostas principalmente por galpões de três e quatro andares. Existe uma pequena rampa no local. A Figura 4-10 ilustra o ponto.



Figura 4-10 – Ponto 1: Av. Dom Pedro II

4.1.7 PED2: Avenida Dom Pedro II

O ponto número 2 é próximo da Rua Itamarandiba e possui três faixas por sentido. A sinalização horizontal e o pavimento estão em bom estado de conservação. Com exceção de algumas poucos edifícios de quatro andares, a grande maioria das edificações são de até dois pavimentos. Não existe rampa no local. A Figura 4-11 ilustra o ponto.



Figura 4-11 – Ponto 2: Av. Dom Pedro II

4.1.8 PED3: Avenida Dom Pedro II

Este ponto é próximo à Rua Evaristo Barbi, situado numa curva, e possui duas faixas por sentido mais uma de estacionamento. O asfalto e a sinalização horizontal também estão em bom estado de conservação e o trecho não apresenta rampa. As edificações no local são de até 2 pavimentos. A Figura 4-12 ilustra o ponto.



Figura 4-12 – Ponto 3: Av. Dom Pedro II

4.1.9 SIB1: Avenida Silviano Brandão

Este ponto, que se localiza próximo à Rua Capuraque, possui duas faixas de tráfego por sentido e estacionamento paralelo dos dois lados da via. A sinalização horizontal e vertical, bem como o pavimento, está em bom estado de conservação. As edificações lindeiras não ultrapassam três pavimentos, sendo presentes dos dois lados da via, conforme pode ser visto na Figura 4-13.



Figura 4-13 – Ponto 1: Av. Silviano Brandão

4.1.10 SIB2: Avenida Silviano Brandão

Este ponto, próximo a um hospital, possui a mesma configuração de faixas e estacionamento que o ponto anterior, no entanto existe uma presença maior de vegetação. A sinalização horizontal e vertical está bem conservada, no entanto o pavimento apresenta algumas fissuras. Este ponto foi escolhido primordialmente em função da presença de um hospital lindeiro à via e que, portanto, deveria apresentar níveis sonoros mais baixos. A Figura 4-14 ilustra este ponto.



Figura 4-14 – Ponto 2: Av. Silviano Brandão

4.1.11 SEB1: Av. Sebastião de Brito

Este ponto é em uma avenida de bairro, justamente selecionada para se obter menores valores de níveis de ruído. No local é uma faixa por sentido e estacionamento paralelo permitido nos dois lados da via. A sinalização horizontal está em boas condições. As edificações lindeiras são de um pavimento, no máximo dois em alguns lugares. A rampa no local é desprezível, conforme pode ser visto na Figura a seguir.



Figura 4-15 – Ponto único: Av. Sebastião de Brito (MG050)

4.1.12 LIN1: Linha Verde (MG050)

Este ponto localiza-se numa rodovia estadual e foi escolhido exclusivamente para obter dados de um local com velocidade média mais alta sendo, portanto, o ponto especial 1. No local são seis faixas por sentido (incluindo as marginais) com pequena rampa. No local, o pavimento é de concreto. Não tem edificações lindeiras e sim um trevo do entroncamento com a Estrada Nova para Santa Luzia, conforme pode ser visto na Figura 4-16.



Figura 4-16 – Ponto único: Linha Verde (MG050)

4.2 Pontos com Restrição a Algum Modo de transporte

4.2.1 São Paulo: Expresso Tiradentes

Este ponto localiza-se na via exclusiva do sistema Expresso Tiradentes, em São Paulo. O Expresso Tiradentes é um corredor exclusivo de transporte coletivo, inaugurado em 8 de março de 2007, que faz a ligação entre o Parque Dom Pedro na região central e o Sacomã, na zona sul da cidade São Paulo, atendendo a cerca de 50 mil pessoas diariamente. O Expresso tem hoje 8,5 km de extensão e possui quatro estações, uma delas integrada com o Metrô, e dois terminais, nos quais o passageiro pode fazer a integração com os ônibus urbanos e intermunicipais (EMTU, 2010).

A velocidade média no corredor é de 37,5 km/h e a máxima, 50 km/h, sendo que o intervalo de partida entre ônibus é de dois minutos nos horários de pico e três nos demais horários. Todo o sistema é controlado pelo Centro de Controle do Expresso (CCE), localizado no Terminal Mercado, funcionando 24 horas por dia, com 24 operadores, 107 câmeras, 20 rádios e oito telões de monitoramento (FREITAS, 2008).

A principal particularidade do Expresso Tiradentes é o fato de ser uma via elevada exclusiva para ônibus e o ponto foi selecionado exclusivamente para que se tivessem dados de ruído em uma via com essas características. No local não há rampa, o pavimento é de concreto e é uma faixa de tráfego por sentido, conforme pode ser visto na Figura 4-17.



Figura 4-17 – Ponto Expresso Tiradentes (MG050)

4.2.2 Eixo Ambiental: Bogotá (Colômbia)

Em um oportuno seminário sobre mobilidade urbana ocorrido em Belo Horizonte, em março de 2009, foi apresentado ao Dr. Enrique Penalosa⁸ a proposta deste trabalho, tendo a mesma sido muito bem recebida pelo idealizador do TransMilenio e encaminhada em seguida ao professor Eduardo Behrentz, Ph.D. - Director Centro de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional da Universidad de los Andes e ainda à senhorita Deysi Yasmín Rodríguez Aponte Ing. MSc. - Profesional Especializado de Gestión Ambiental Dirección de Operaciones, TransMilenio S.A. A partir destes contatos, conseguiu-se o apoio necessário para realizar a pesquisa também na cidade de Bogotá.

O ponto selecionado também foi exclusivamente devido ao fato de ser uma via onde só é permitida a passagem dos ônibus do sistema de transporte coletivo da cidade, denominado TransMilenio.

O TransMilenio é o sistema de transporte público metropolitano de veículo leve sobre pneus (VLP), do tipo Transporte Rápido por Ônibus (TRO) que funciona na cidade de Bogotá, Colômbia. A construção iniciou em 1998, e sua inauguração aconteceu no dia 18 de dezembro de 2000, com as troncais da Avenida Caracas até a Avenida dos Comuneros (Calle Sexta) e a Calle 80. Novas linhas troncais foram habilitadas desde então, e ainda existem outras em andamento (TRANSMILENIO, 2010).

A rede do TransMilenio foi inspirada na Rede Integrada de Transporte de Curitiba, mas com algumas melhorias que permitiram contar com uma capacidade de carregamento de passageiros superior.

Especificamente sobre o eixo ambiental (Local da Pesquisa), este é um ramo final de um dos corredores do sistema, próximo à Universidad de los Andes, onde só é permitida a passagem dos ônibus do Sistema TransMilenio, conforme já falado. A Figura 4-18 ilustra o local.

⁸ Ex-prefeito da cidade de Bogotá, responsável pela idealização e implantação do Sistema Transmilenio.



Figura 4-18 – Ponto Eixo Ambiental durante as medições (Bogotá, Colômbia)

É importante salientar que o Sistema TransMilenio foi alvo de diversas pesquisas, principalmente no âmbito de mobilidade urbana. No que diz respeito a impactos ambientais de sistemas de transporte também existem publicações, no entanto voltadas para a questão de emissões atmosféricas. Neste contexto, a pesquisa feita por Motta et al. (2009) mostrou, por exemplo, que o sistema vem proporcionando uma redução significativa das emissões de poluentes locais e dos gases responsáveis pelo aquecimento global.

No entanto, nada foi encontrado com relação a níveis de ruído. De qualquer forma, teve-se contato com pesquisadores da Universidad de Los Andes que estavam iniciando um trabalho de ruído de tráfego em nível de mestrado (Sr. José Pacheco) na cidade.

4.3 Análise Complementar da Relação Ruído x Grau de Saturação

O local escolhido para a análise adicional qualitativa, citada na metodologia, foi o elevado da Linha Verde (Av. Cristiano Machado) sobre a Rua Jacuí e Av. Silviano Brandão (Figura 4-19).

Por oportunidade de acesso a um dos escritórios em um prédio lindeiro que possui janela voltada para o elevado, realizou-se uma medição de 24h ininterruptas no local.



Figura 4-19 – Imagem do elevado monitorado (Av. Cristiano Machado)

O aparelho de medição foi posicionado no 11º andar, com uma das janelas abertas, medindo continuamente os níveis sonoros. Paralelamente às medições foram tiradas fotografias no turno diurno em intervalos de 30 minutos nos entre picos e 15 minutos nos picos.

4.4 Equipamentos Utilizados

O medidor de nível de pressão sonora utilizado foi um modelo da marca Extech, modelo 407780, conforme pode ser visto na Figura 4-20. O calibrador utilizado foi da mesma marca e possui precisão de $\pm 0,5$ dB.



Figura 4-20 – Imagem do medidor de nível de pressão sonora utilizado

Utilizou-se, para medição da velocidade média do fluxo, um radar de mão da marca Bushnell modelo 101911, ilustrado na Figura 4-21, de propriedade do autor.



Figura 4-21 – Ilustração do radar utilizado para medir velocidade média do fluxo

5 Apresentação e Discussão dos Resultados

Este capítulo resume-se a apresentar e discutir sucintamente os resultados obtidos com a coleta de dados em uma avaliação conjunta. Em virtude do significativo montante de dados, será apresentado um resumo para cada ponto para cada parâmetro coletado, com foco naquelas informações que são essenciais para discussão e caracterização de cada local, bem como para posteriores considerações nas análises mais aprofundadas que serão feitas. A apresentação de dados segregadamente por ponto é apresentada em anexo neste documento.

5.1 Dados Gerais Obtidos

Preliminarmente, a Figura 5-1 apresenta a variação do Leq durante o período de pesquisa. É possível perceber que o ruído é menor no final da madrugada e depois aumenta, permanecendo constante praticamente durante todo o dia, seja nos horários de pico, seja nos entre picos. Após às 20:00h é possível também identificar uma tendência de diminuição.

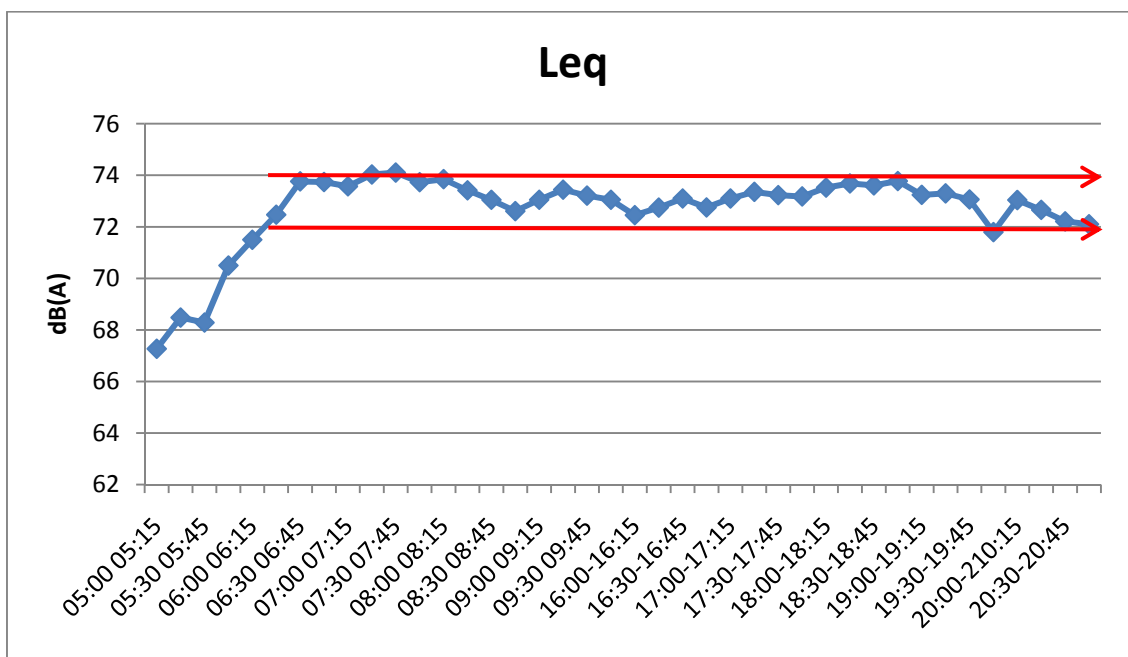


Figura 5-1– Variação do Leq

A Figura 5-2 apresenta a variação do fluxo de veículos nos sentidos bairro >> centro e centro >> bairro. Conforme esperado, há uma inversão dos picos com relação aos turnos. Isto é, de manhã o pico é em direção ao centro e à tarde no sentido contrário. Fato ainda que merece destaque é que, de manhã, o pico é mais concentrado, enquanto

que à tarde ele tem um período de duração maior. Isto pode, na verdade, representar a capacidade máxima do sistema viário. Isto é, existe uma demanda reprimida que alarga o pico em torno do valor limite de vazão das vias.

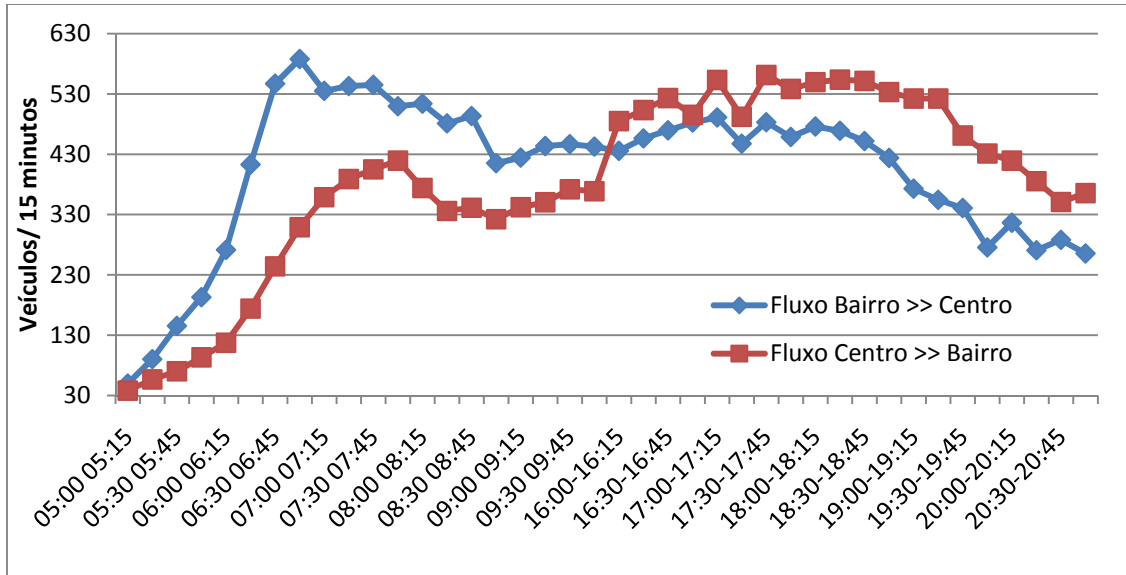


Figura 5-2 – Variação do fluxo de veículos

Já a Figura 5-3 apresenta a variação da velocidade média por sentido, identificada nas vias onde foram feitas as medições. Verifica-se que este parâmetro é maior no final da madrugada e diminui ao longo do dia, voltando a aumentar no início da noite. Este comportamento é justamente o inverso do fluxo veicular, o que vai ao encontro das premissas básicas de relações de tráfego entre volume e velocidade. Ainda referente a este parâmetro, verifica-se que o mesmo é maior no sentido de menor fluxo. Isto é, de manhã no sentido centro >> bairro e à tarde no sentido contrário. O fato também ocorre devido à relação entre volume e velocidade nas vias em cada turno. Mais considerações a respeito serão feitas no capítulo seguinte, visto que há interferência direta nos níveis de ruído.

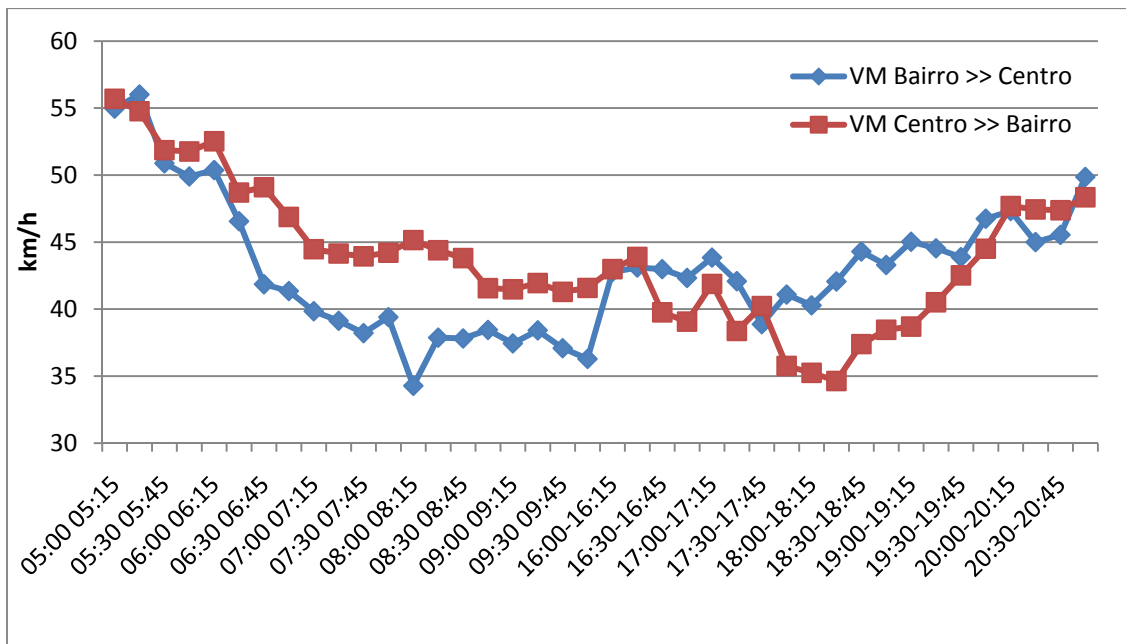


Figura 5-3 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos

No que diz respeito às ocupações médias verificadas, é possível perceber, conforme será visto a seguir, um comportamento similar entre os modos mensurados (auto, ônibus e moto). De forma geral, as ocupações médias no sentido de maior demanda são maiores, não só para ônibus. Além disso, os valores obtidos para o turno da tarde são maiores do que no turno da manhã.

A Figura 5-4 e a Figura 5-5 apresentam os resultados médios dos automóveis. A Figura 5-6 e a Figura 5-7 apresentam os resultados dos ônibus, enquanto que a Figura 5-8 e a Figura 5-9 são referentes às motos. Nelas é possível constatar o que foi explanado no parágrafo anterior.

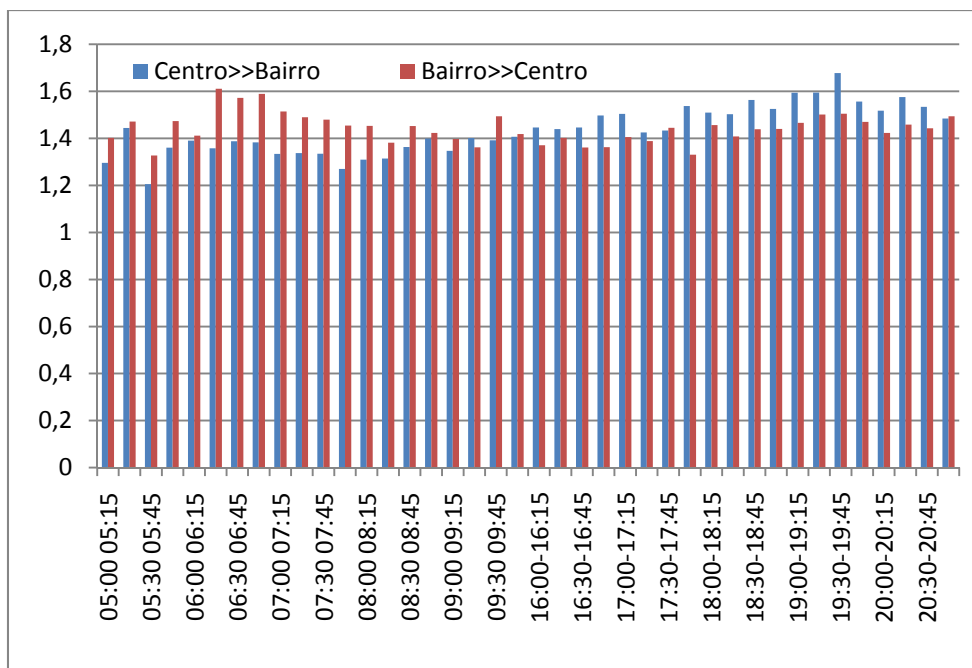


Figura 5-4 – Variação da ocupação média dos automóveis

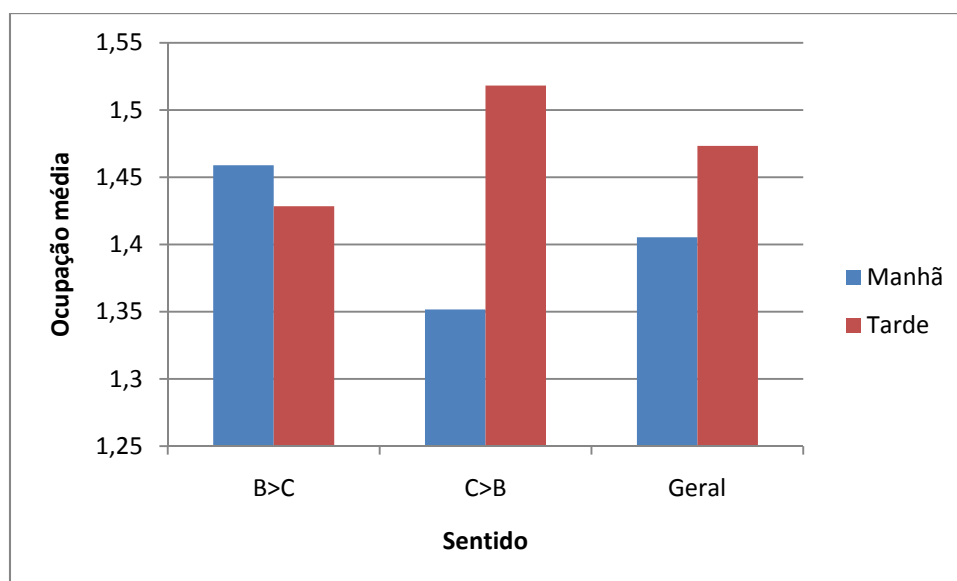


Figura 5-5 – Resumo da variação da ocupação média dos automóveis

Pela Figura anterior conclui-se que, de forma geral, a ocupação média dos automóveis é 5% maior no turno da tarde do que no turno da manhã.

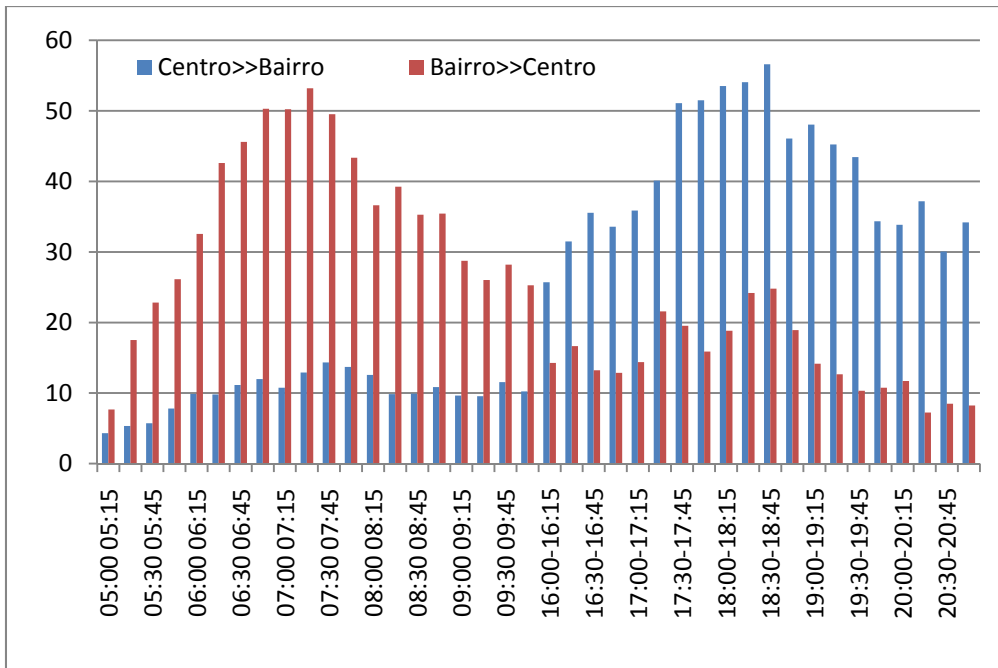


Figura 5-6 – Variação da ocupação média dos ônibus

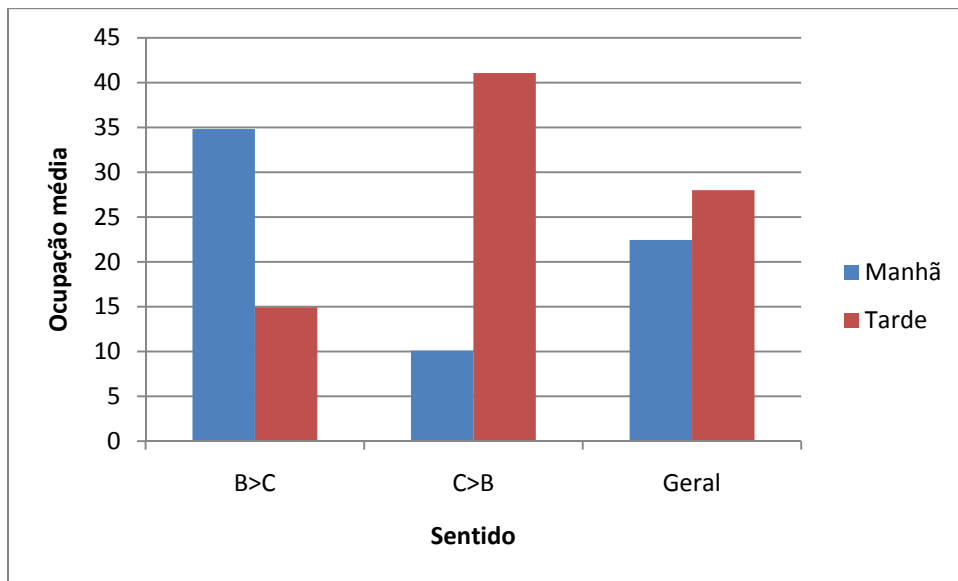


Figura 5-7 – Resumo da variação da ocupação média dos ônibus

Pela Figura anterior, verifica-se que a ocupação média dos ônibus no turno da tarde é 25% maior do que no turno da manhã. É importante salientar que os dados apresentados englobam pico e entre pico, o que explica os valores de ocupação média relativamente baixos. Maiores considerações serão feitas no capítulo seguinte.

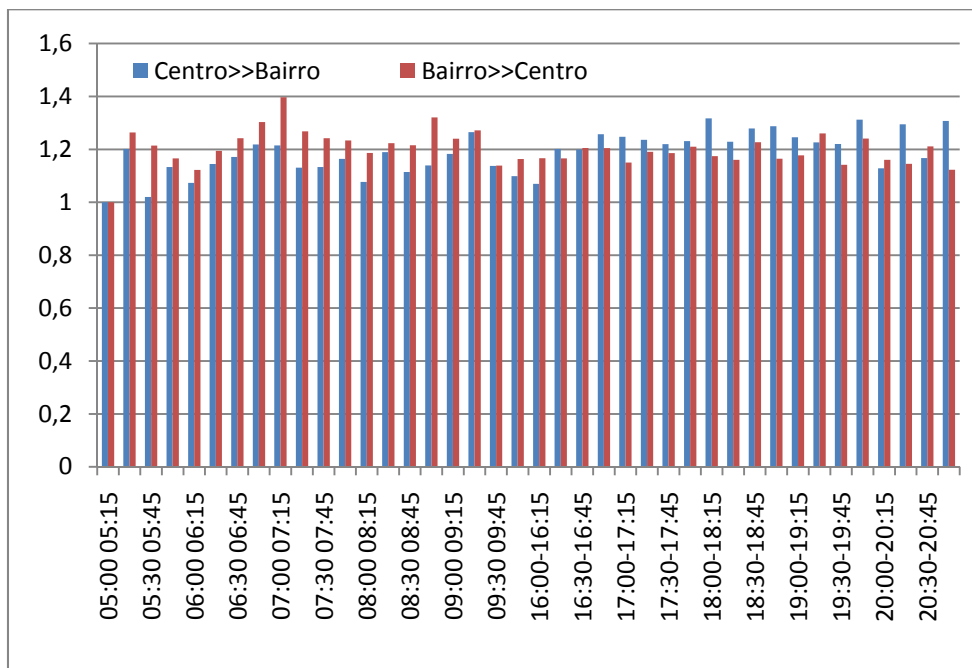


Figura 5-8 – Variação da ocupação média das motos

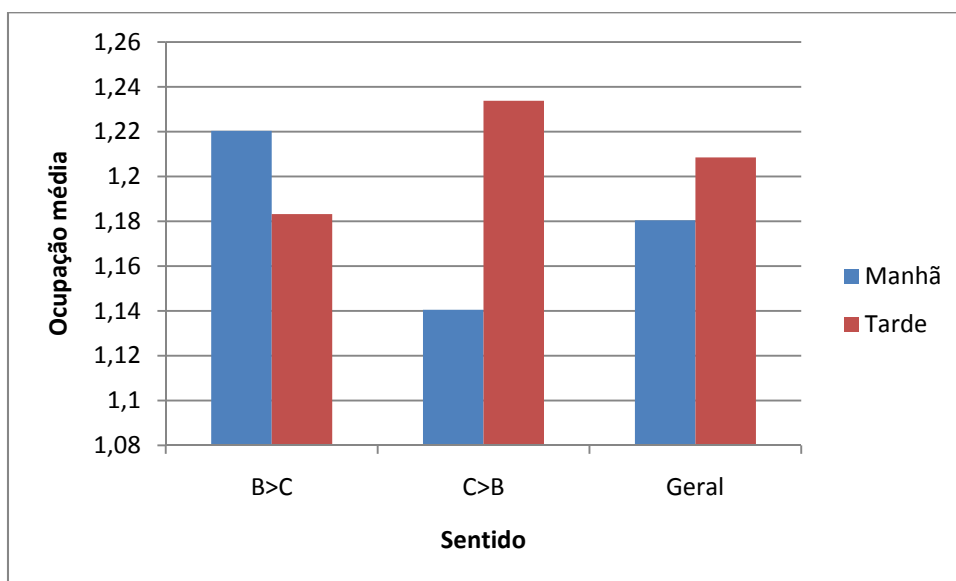


Figura 5-9 – Resumo da variação da ocupação média das motos

Pela Figura anterior, verifica-se que a ocupação média das motos no turno da tarde é 2,5% maior do que no turno da manhã. Este é o modo que menos apresentou variação ao longo do dia neste indicador. O fato pode ser explicado, em partes, pela sua baixa capacidade (2 pessoas / veículo).

5.2 Discussão dos Dados Coletados

Frente ao significativo montante de dados obtidos no total de 13 pontos de coleta (resumidos aqui e apresentados separadamente por ponto em anexo neste documento), chega-se a uma série de constatações que merecem ser ressaltadas. No que diz respeito a ruído, pode-se inferir que os níveis médios variam pouco durante o dia (pico e entre pico), em termos de decibéis ($73 \text{ dB(A)} \pm 1 \text{ dB(A)}$). De forma geral estão, praticamente durante todo o dia, acima de 70 dB (tanto os pontos de Belo Horizonte e São Paulo, quanto também os de Bogotá), valor máximo recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) para áreas urbanas, independentemente do uso do solo e turno.

Já no que diz respeito especificamente aos valores encontrados no município de Belo Horizonte, os níveis médios de ruído (L_{eq}) estão dentro do permitido pela Lei Municipal número 9505/08 no turno diurno (entre 7:00h e 19:00h). Isto porque a mesma sugere que seja somado 5 dB aos valores tabelados para quando as medições forem feitas fora do local de suposto incômodo (rua, por exemplo).

5.2.1 Ruído

Percepções específicas sobre o ruído de fundo L_{90} , indicam que, de forma geral e independentemente do tráfego, os ruídos característicos dos pontos mensurados são significativos, tendo apresentado valores menores que 50 dB(A) apenas em horários próximos às 5:00h da manhã.

O local com maiores índices de ruído foi o ponto da rodovia MG010, onde as velocidades médias são significativamente maiores, além de ter revestimento de concreto, o que também colabora para aumentar a emissão sonora. Por outro lado, os menores valores foram encontrados para a Av. Sebastião de Brito, via de função coletora com moderados volumes de tráfego.

5.2.2 Tráfego

No que se refere a fluxo de tráfego, identificou-se que o pico é mais concentrado no turno da manhã, apontando uma possível demanda maior que a capacidade no pico da tarde, fazendo com que o mesmo seja mais demorado (alongado). As vias identificadas como mais movimentadas (valores médios ao longo do dia) são a Av. Antônio Carlos, seguida da Av. Pedro II e Amazonas. Já as com menor fluxo foram as avenidas Sebastião de Brito e Silviano Brandão.

5.2.3 Velocidades Médias

Já as velocidades médias mensuradas caem com o início do dia (e picos) e voltam a aumentar à noite, caracterizado velocidades de fluxo livre, conforme esperado. De forma geral, a variação média deste parâmetro foi da ordem de 60% ao longo do dia. Conforme mencionado, o local onde se mensurou as maiores velocidades médias foi o ponto da rodovia MG010.

5.2.4 Ocupações Veiculares

Com relação à ocupação média veicular, verifica-se que o valor médio para veículos é significativamente baixo, não atingindo 1,5 passageiro / veículo. Além disso, se observou uma tendência de ocupações médias maiores no sentido de maior demanda e também no turno da tarde, apesar da pouca variação.

Ainda analisando as ocupações médias obtidas nos diversos pontos, verifica-se que existe significativa ociosidade no sistema de transporte quando considerada toda oferta disponível (todos modos de transporte) ao longo do dia. Mesmo quando analisados os modos de transporte separadamente, bem como sentidos de maior demanda, ainda verifica-se ociosidade no sistema, apesar de em proporções menores, conforme será melhor detalhado no capítulo seguinte.

6 Análise da Geração de Ruído de Tráfego Urbano Através da Contextualização de Indicadores Operacionais do Sistema de Transporte

6.1 Ruído x Capacidade do Sistema de Transporte

Contemplando a premissa de realizar uma investigação profunda sobre as relações entre ruído de tráfego urbano e as características operacionais dos sistemas de transporte, focado primordialmente no deslocamento de pessoas, inicia-se este capítulo com uma análise do ruído gerado em função da capacidade do sistema.

Avaliando a Figura 6-1 é possível verificar (visualmente) que existem cerca de três patamares principais (conforme segregado em cores) com relação à geração de ruído x capacidade total do sistema. Isto é, o primeiro grupo, em vermelho, mostra uma capacidade média (por corredor) da ordem de 7500 lugares / 15 minutos, considerando todos os modos e nos dois sentidos, com uma geração média de ruído da ordem de 83 dB. É um valor alto para a capacidade disponível, ainda mais se comparado com os outros dois patamares.

Ao se avaliar os dados para identificar qual (ou quais) ponto foi responsável por este cenário encontrou-se a Linha Verde (rodovia MG010). Este conjunto de pontos apresentou fluxos medianos, porém com altas velocidades médias, combinadas a um tipo pavimento tradicionalmente mais ruidoso, o concreto (MURGEL, 2000).

Já ao se analisar o grupo destacado em verde encontrou-se um aumento gradativo da capacidade juntamente com um aumento dos níveis de ruído. Estes pontos são aqueles que representam o início da manhã, quando o dia está amanhecendo e se verifica um incremento gradual do fluxo de veículos e, conseqüentemente, da capacidade do sistema.

Por último, há o grupo de pontos destacado em amarelo, que mostra que, para uma variação significativa de capacidade do sistema (entre 10.000 e 18.000 usuários/15 minutos, ou seja, uma variação de 80%), têm-se níveis de ruído praticamente constantes. Isto é, para um mesmo nível de ruído (eixo das ordenadas) tem-se vários valores de capacidade (abscissas). Analisando alguns pares ordenados em específico verifica-se que um ponto, às 7:00h da manhã na Av. Antônio Carlos, que possui capacidade total de 17500 lugares no sistema com 200 ônibus em circulação, possui o mesmo nível de ruído que um ponto na Av. Pedro II às 17:00h com um fluxo de cerca de 20 ônibus (dez vezes

menor). No entanto, o fluxo total para os outros tipos de veículos na Av. Pedro II (1489) é 43% maior do que na Av. Antônio Carlos (1041). Ou seja, para diferentes configurações de divisão modal, é possível ter o mesmo nível de ruído. Ou ainda, é possível transportar um número maior de pessoas, sem necessariamente aumentar os níveis de ruído proporcionalmente, desde que a configuração da divisão modal privilegie, a priori, o sistema de transporte coletivo.

Outro exemplo, ainda a título de discussão, é que para capacidades da ordem 5600 lugares têm-se o ruído variando entre 69 dB e 75 dB. Na pesquisa feita em Bogotá verificou-se que o sistema TransMilenio no Eixo Ambiental apresentou ruído igual a 72 dB (valor médio entre 69 e 75). Isto é, existem situações onde, pode se ter a mesma capacidade ofertada pelo sistema com geração de ruído até 6 dB maior.

Em suma, a informação primordial que se tira desta primeira análise (Figura 6-1) é que é possível obter altas capacidades de transporte de passageiros em centros urbanos sem necessariamente ter um aumento de ruído proporcional (tendência de estabilização dos níveis de ruído).

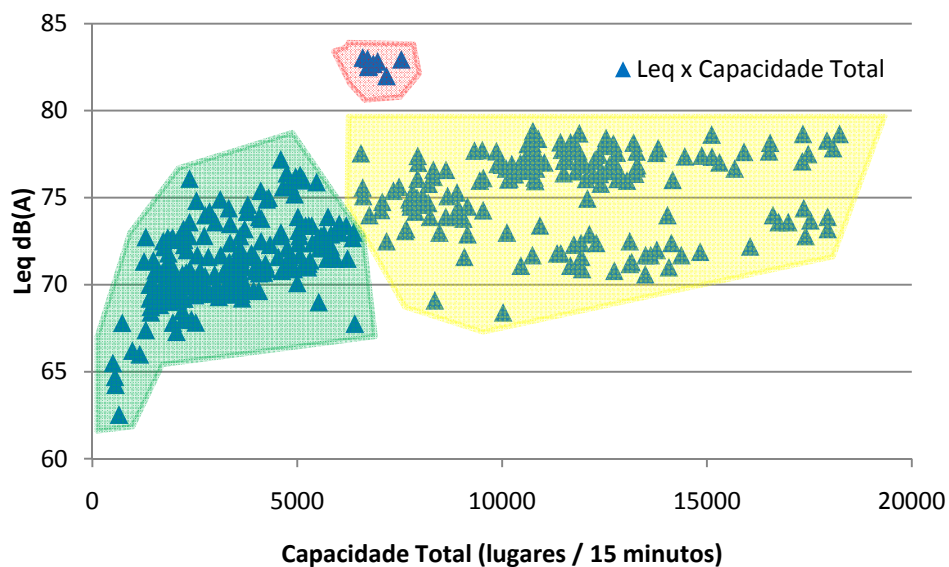


Figura 6-1 – Ruído x Capacidade Total do Sistema

Similarmente ao comportamento da relação *ruído x capacidade do sistema*, é possível verificar na Figura 6-2 que a relação entre ruído e total de pessoas transportadas apresenta uma tendência de estabilização. Isto é, é possível transportar quantidades diferentes de pessoas gerando os mesmos níveis de ruído. Em especial, verifica-se que entre 4.000 e 8.000 passageiros / 15 minutos, a geração de ruído foi

praticamente a mesma (tendência), no entanto o total de pessoas transportadas apresentou variação de até 100%. O fato acontece porque existe ociosidade no sistema de transporte, de forma que o incremento de pessoas transportadas, não é proporcional ao número de veículos em circulação ao longo do dia. Ou seja, existem momentos em que a capacidade do sistema é mais demandada (picos) e já em outros não (entre picos), conforme esperado.

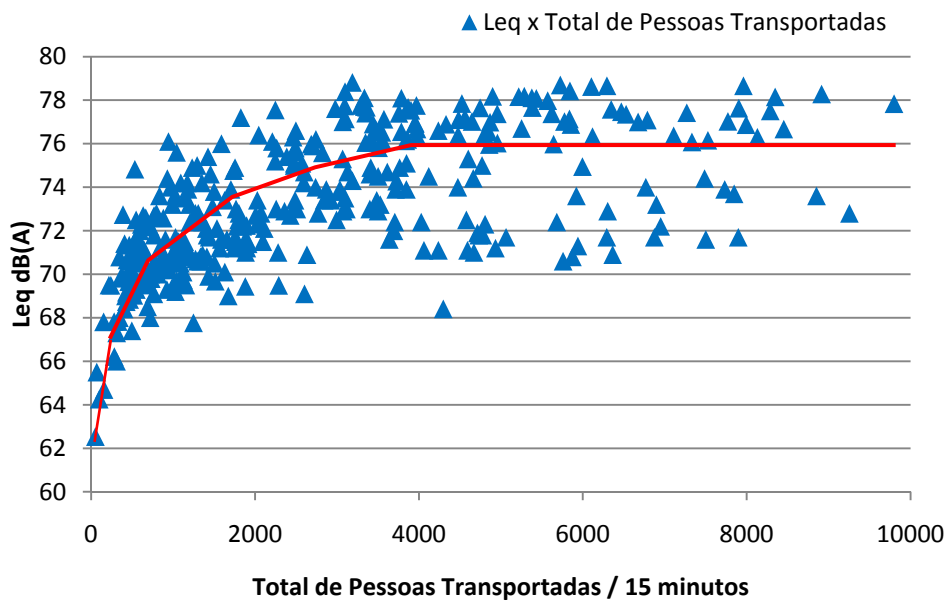


Figura 6-2 – Ruído x Total de Pessoas Transportadas

6.2 Capacidade do Sistema x Total de Pessoas Transportadas

Corroborando o que foi dito anteriormente (ociosidade no sistema de transporte), quando se compara o total de pessoas transportadas com a capacidade total do sistema, verifica-se que, de forma geral o sistema opera com cerca de 45% de ociosidade (Figura 6-3). Isto era esperado em função das características operacionais atuais do sistema de transporte, visto que grande parte das linhas de ônibus são do tipo diametrais com dois pontos de controle, o que implica em ônibus voltando vazios no sentido do contra-pico em direção ao ponto de controle.

Ou seja, no pico da manhã os ônibus saem com alta ocupação média dos bairros e assim vão até o centro, no entanto após passarem esta área, em direção ao outro ponto de controle, os mesmos trafegam com baixas ocupações médias. Além disso, a ocupação média verificada para os automóveis tende a elevar a ociosidade média do sistema ao longo de todo o dia, visto que a mesma é da ordem de 1,5 passageiro /

veículo e, considerando um automóvel como sendo capaz de transportar confortavelmente 4 pessoas, existe uma ociosidade de 62,5%.

Com os dados coletados foi possível obter um modelo simplificado de estimativa da relação entre capacidade e ocupação do sistema com 88% de precisão ($R^2=0,88$), conforme apresentado a seguir:

$$P_{ts} = \frac{C_s - 682}{2,42} \tag{6.1}$$

Onde:

P_{ts} é número de pessoas transportadas pelo sistema;

C_s é a capacidade do sistema.

Em uma análise genérica com relação à geração de ruído, pode-se inferir que existe um numero significativo de veículos circulando (gerando ruído), desnecessariamente, isto é, seria possível transportar o mesmo número de pessoas com uma quantidade menor de veículos. No entanto, será discutido posteriormente quais seriam os efeitos nos níveis de ruído caso o número de veículos em circulação fosse menor.

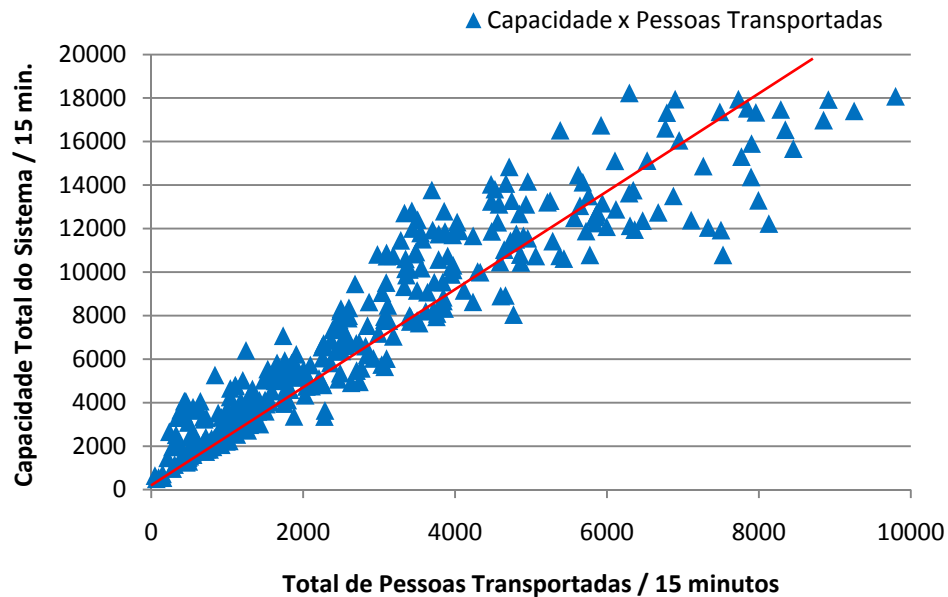


Figura 6-3 – Capacidade do Sistema x Total de Pessoas Transportadas

Quando a análise é feita somente para a relação entre *capacidade do sistema de transporte coletivo x total de pessoas transportada pelo modo coletivo* verifica-se que, para um mesmo valor de capacidade, existem diferentes utilizações (Figura 6-4). Isto é,

há períodos ao longo do dia onde a capacidade não é utilizada de forma otimizada, já em outros a mesma é praticamente toda absorvida pela demanda existente.

O que pode explicar o fenômeno é o fato de ter sido realizada pesquisa tanto em horários de pico quanto de entrepico e, de forma geral, pode-se inferir que nos momentos de entre pico há uma significativa ociosidade neste modo de transporte (ônibus). Ou seja, no que diz respeito à geração de ruído, em uma análise per capita, este valor é maior nos entre picos, conforme será melhor detalhado posteriormente.

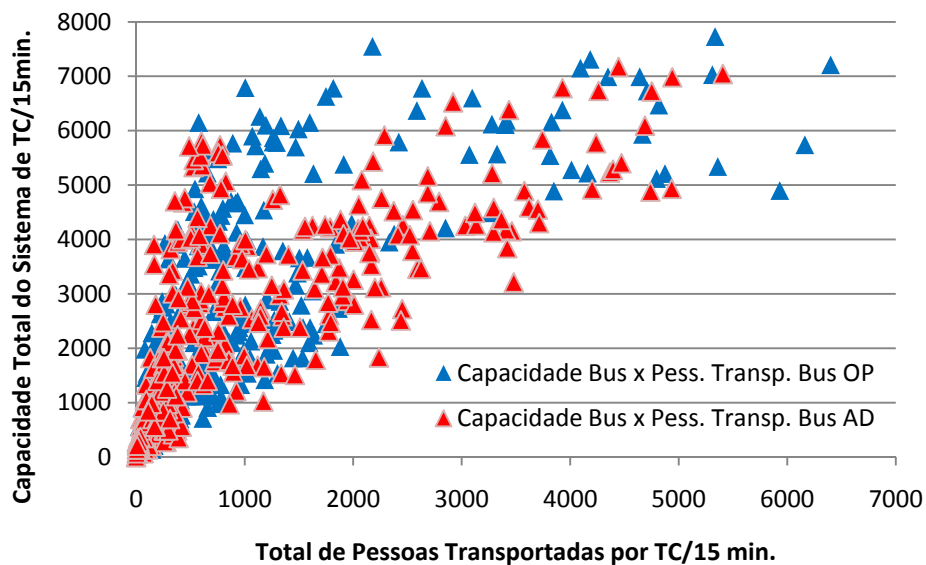


Figura 6-4 – Capacidade do Sistema de Transporte Coletivo x Total de Pessoas Transportadas por este modo

Já quando se analisa a relação entre *capacidade dos autos e total de pessoas transportadas por este modo*, verifica-se um comportamento mais linear, isto é, as ocupações médias variam pouco ao longo do dia, seja em pico seja em entre pico (Figura 6-5). No entanto, de forma similar aos ônibus é possível identificar ociosidade neste modo de transporte (da ordem de 60%). Também para esta análise, devido à linearidade do comportamento desta relação, foi possível obter um modelo simplificado, com precisão de 96% ($R^2=0,96$), conforme mostrado a seguir:

$$P_{ta} = \frac{C_a - 67}{2,57}$$

6.2

Onde:

P_{ta} é número de pessoas transportadas por autos;

C_a é a capacidade total do modo de transporte automóvel (número de lugares).

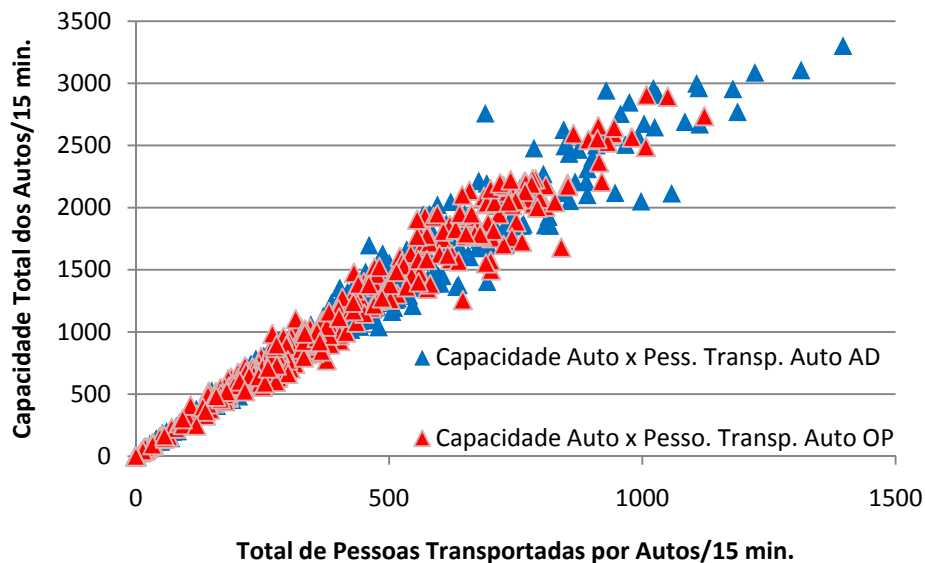


Figura 6-5 – Capacidade Total de Autos x Total de Pessoas Transportadas por este modo

6.3 Características das Relações entre Oferta e Demanda de Transporte de Passageiros

Fazendo uma análise da variação da capacidade dos principais modos (auto e ônibus) em termos percentuais na divisão modal ao longo do dia, com relação aos sentidos de maior demanda nos picos, verifica-se que, de forma geral, mesmo a participação do número de ônibus sendo pequena (menos de 5%), a capacidade ofertada deste é significativamente maior (cerca de 150%). A Figura a seguir ilustra a situação descrita no sentido Centro >> Bairro, onde também é possível verificar que, de forma geral, a capacidade ofertada em torno do pico da tarde é maior (maior número de veículos) neste sentido, conforme esperado.

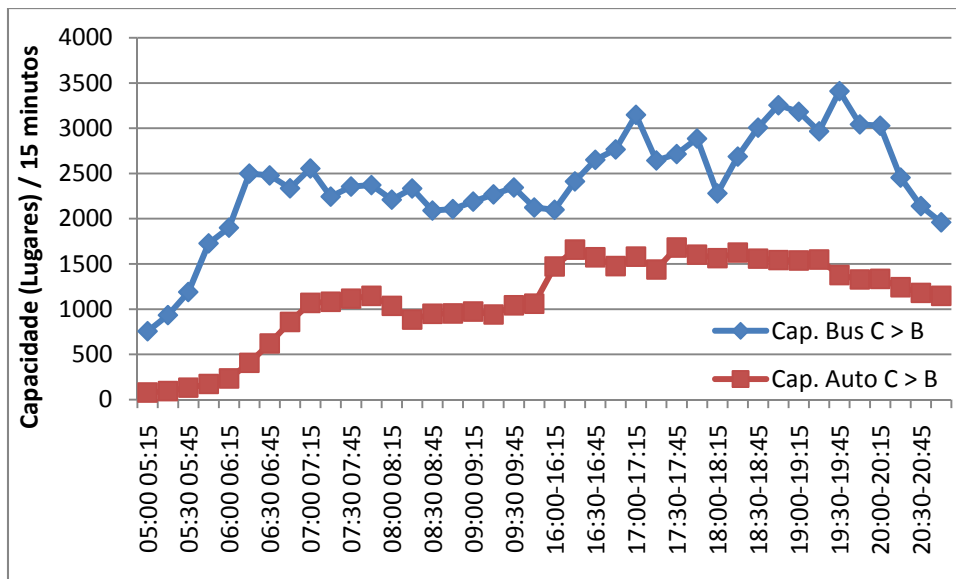


Figura 6-6 – Variação da capacidade ao longo do dia (autos e ônibus) – Centro >> Bairro

Já no sentido Bairro > Centro verifica-se picos mais bem definidos e dessa forma é possível constatar que o transporte coletivo (ônibus) possui variações mais significativas com relação à capacidade nos picos e entre picos (conforme esperado), tendendo a ser maior no pico da tarde, conforme pode ser visto na Figura 6-7.

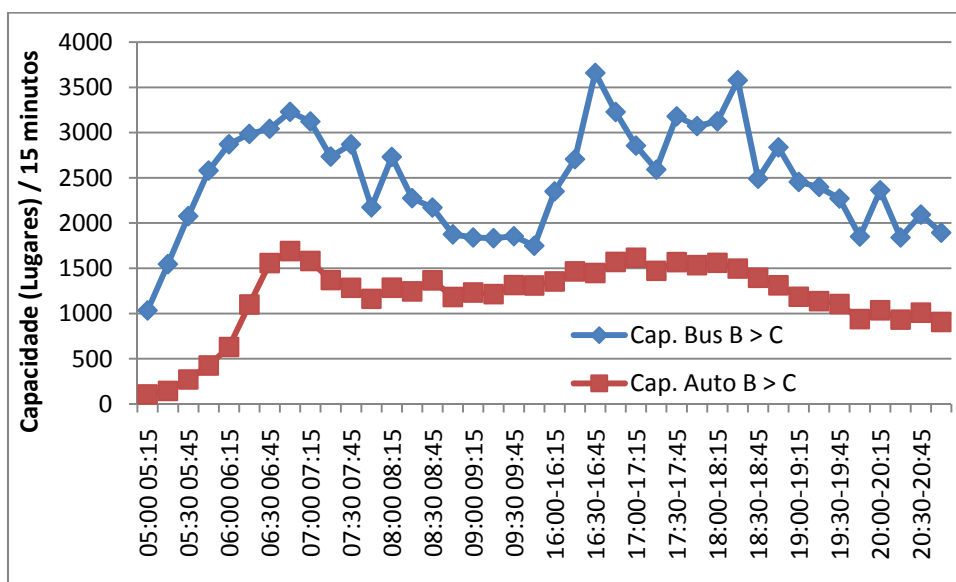


Figura 6-7 – Variação da capacidade ao longo do dia (autos e ônibus) – Bairro >> Centro

Analisando a relação (média) entre a demanda e a capacidade do sistema de transporte (modos auto, ônibus e moto), verifica-se que, de forma geral, existe ociosidade (da ordem de 25% no maior pico), conforme pode ser visto na Figura 6-8. Isto é, no pico da manhã, em direção ao centro, a maior demanda de transporte de pessoas utiliza cerca de 60% de toda oferta disponível. Já no pico da tarde, em direção ao bairro, este valor é da ordem de 75%.

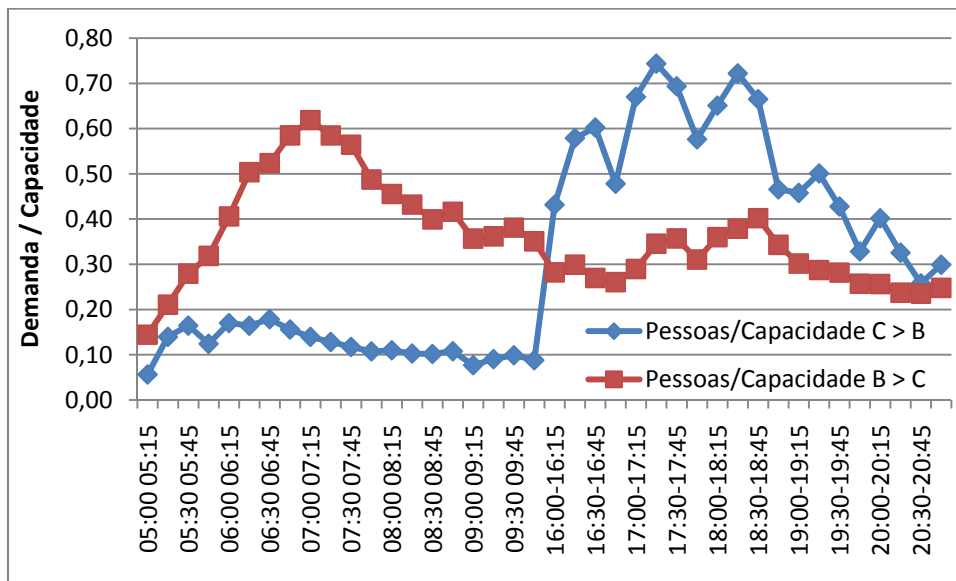


Figura 6-8 – Variação da relação entre demanda e capacidade do sistema

Corroborando a constatação de que o pico da tarde é mais demandado, a Figura 6-9 ilustra o número médio (por corredor) de pessoas transportadas a cada 15 minutos ao longo dos períodos de pesquisa.

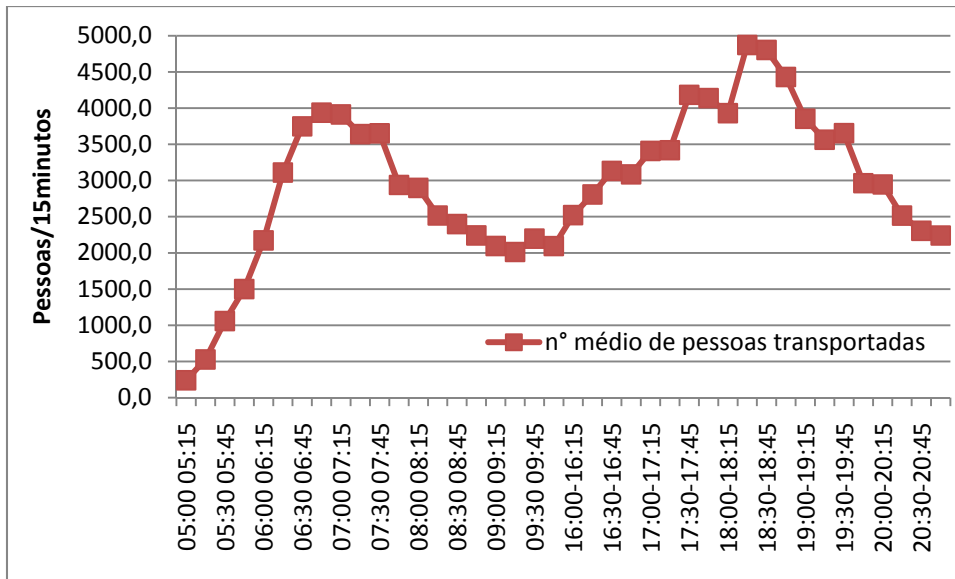


Figura 6-9 – número médio (corredor) de pessoas transportadas ao longo do período de medição

No entanto, já foi mostrado que a ocupação média veicular é baixa e praticamente constante ao longo do dia, o que explica, em partes, a ociosidade existente no sistema. Portanto, faz-se mister realizar uma análise da relação entre oferta e demanda do transporte coletivo isoladamente. A Figura 6-10 apresenta a relação média por corredor entre demanda e capacidade do sistema de transporte coletivo verificada nos intervalos de 15 minutos dos períodos de pesquisa.

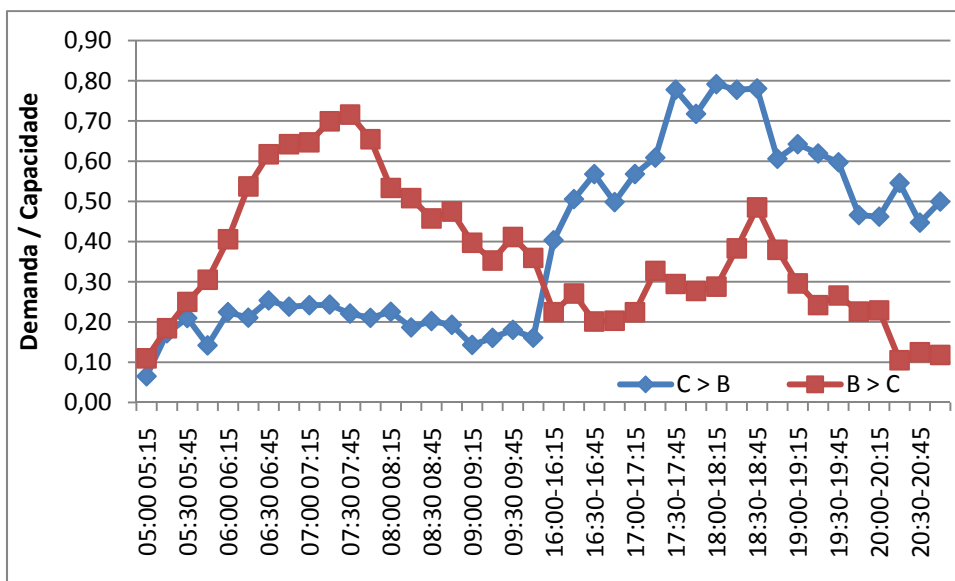


Figura 6-10 – Variação da relação entre demanda e capacidade do sistema de transporte coletivo

Conclui-se que, de forma geral, o pico de demanda do transporte coletivo de manhã é da ordem de 70% da capacidade disponível, enquanto à tarde este valor chega a 80%. Ou seja, mesmo avaliando só o transporte coletivo, ainda existe ociosidade no sistema.

No entanto, é de fundamental importância salientar que o fato ocorre quando se realiza médias para os intervalos de 15 minutos, considerando todas as linhas de ônibus e dos diversos corredores mensurados. Faz-se esta ressalva porque foi verificado que algumas linhas operam no pico com demanda maior que a capacidade (número de pessoas acima do valor médio de ocupação de projeto considerado para conforto), bem como alguns corredores que possuem picos de demanda bem superiores a outros, etc.

Não obstante, esta constatação quantitativa geraria significativa repercussão frente aos usuários cotidianos deste modo de transporte, visto que há, de forma geral, uma constante reclamação quanto aos níveis de conforto dos ônibus, o que inclui a ocupação média. No entanto conforme explanado, os valores são médios, e algumas linhas apresentaram sim demanda até maior do que a capacidade de projeto.

6.4 Relações entre Ruído e Divisão Modal do Transporte de Passageiros

A Figura 6-11 e a Figura 6-12 mostram que não há, a priori, uma relação entre percentual de uso de determinado modo e ruído gerado, seja o automóvel, seja ônibus, o que permite inferir que existe uma série de outros fatores preponderantes na questão. Além do que, uma análise feita só em percentuais não permite que a diferença entre o montante de fontes sonoras (veículos) tenha efeito, sendo necessários outros tipos de análises.

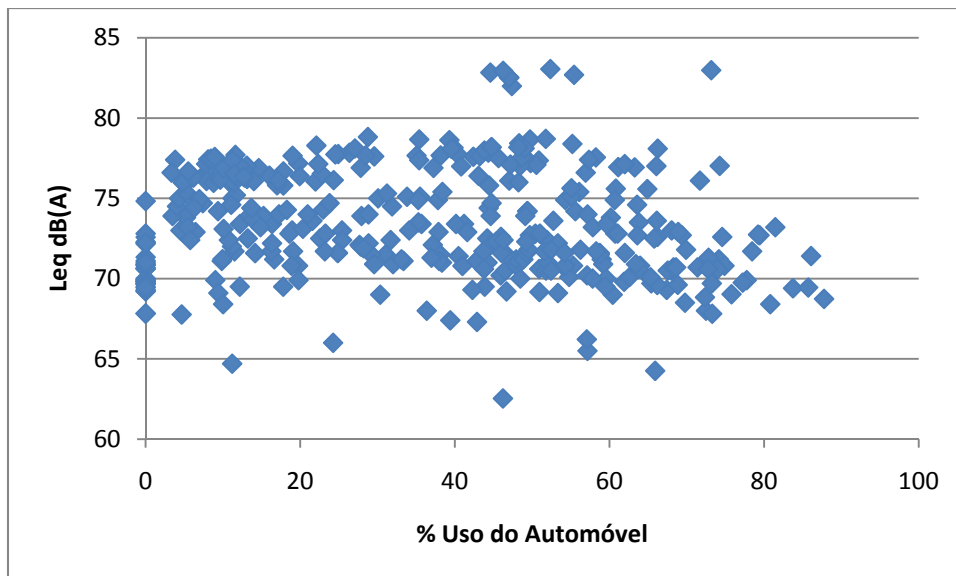


Figura 6-11 – Ruído x Percentual de uso do automóvel

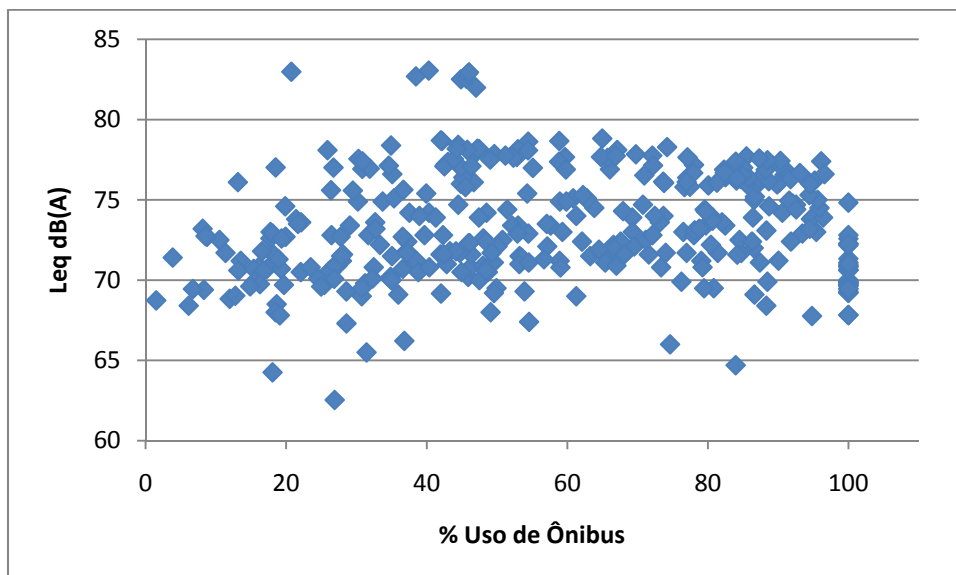


Figura 6-12 – Ruído x Percentual de uso do ônibus

Foi feita ainda uma análise para avaliar a variação da divisão modal ao longo dos períodos de medição. Isto é, como se comportou a variação do montante de pessoas transportadas nos modos analisados ao longo dos horários pesquisados. A conclusão é que a mesma varia significativamente ao longo do dia, de forma que nos horários de pico a participação do modo coletivo é maior. No entanto, nos entre picos, a participação do automóvel é preponderante aos outros modos. Apesar desta inversão, é preciso destacar que o número de pessoas transportadas também varia muito, sendo

mais de 100 % menor nos entre picos (Figura 6-9), horário em que o carro possui maior participação.

Verifica-se que nos entre picos (Figura 6-13) a participação do automóvel chega a atingir, em média, 48% contra 45% dos ônibus. Também é possível verificar que o pico de participação do transporte coletivo ocorre de manhã, cerca de dez pontos percentuais a mais. Já a participação das motos varia pouco ao longo do horário pesquisado, sendo sempre abaixo de 10%, com uma tendência de aumento no entre pico. Salienta-se que estes valores são referentes ao percentual de **viagens** realizadas por cada um destes modos.

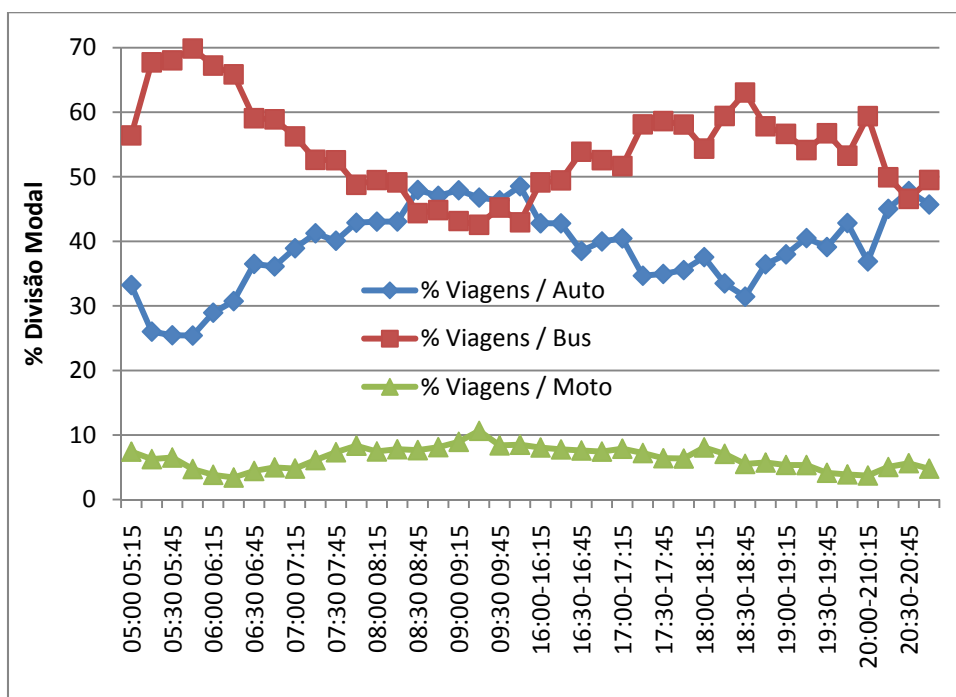


Figura 6-13 – Variação média da divisão modal ao longo dos períodos de pesquisa

6.4.1 Resumo Geral da Divisão Modal Identificada

Realizando uma média geral para os diferentes modos (analisados) rodoviários utilizados nas **viagens** na cidade de Belo Horizonte chega-se à divisão modal apresentada na Figura 6-14. É notório o quão maior é a participação do modo coletivo.

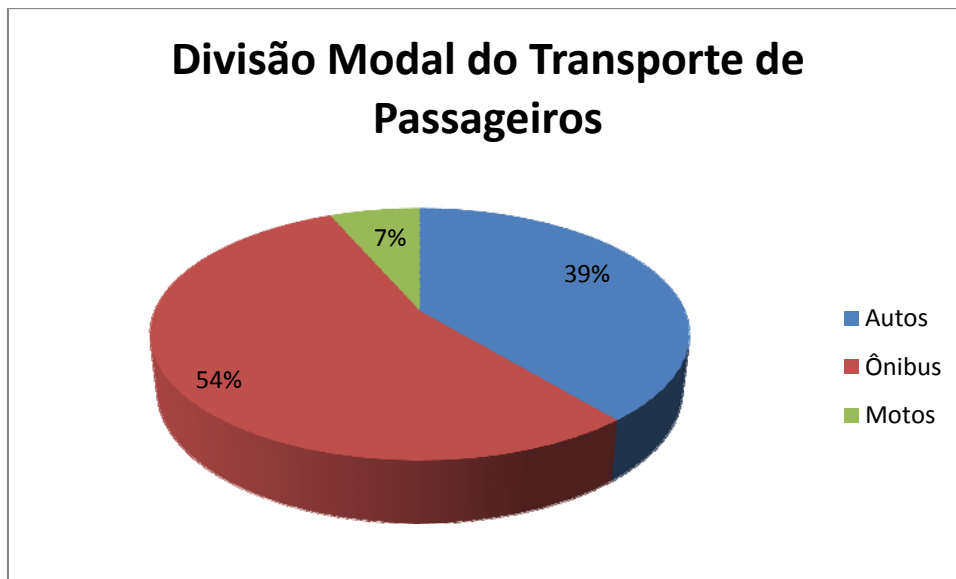


Figura 6-14 – Divisão modal geral identificada para os modos rodoviários pesquisados

Por outro lado, quando se avalia a participação percentual dos tipos de veículos presentes nas vias, tem-se uma situação inversa, conforme apresentado na seguir:

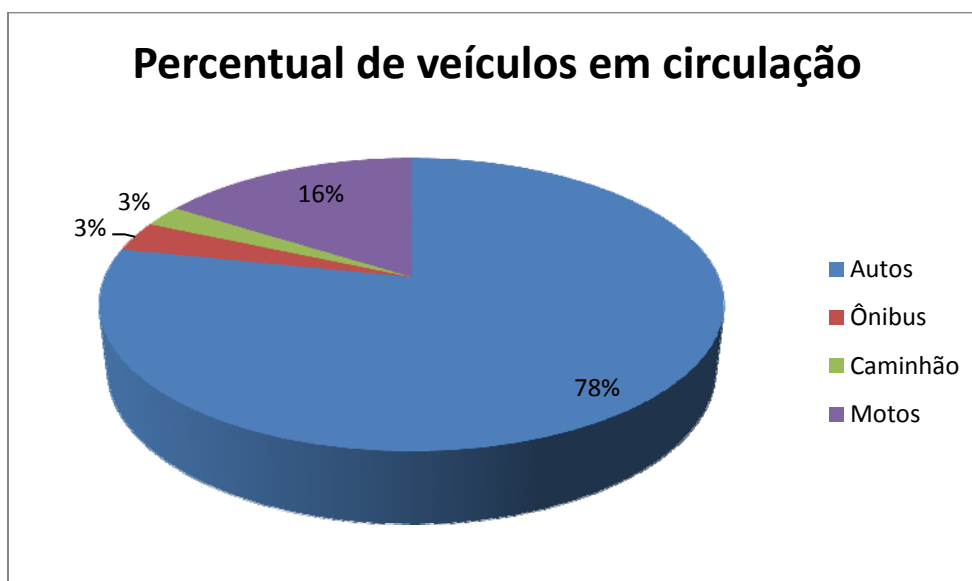


Figura 6-15 – Repartição percentual média dos veículos em circulação pesquisados

Isto é, conclui-se que 78,1% dos veículos presentes no sistema viário são automóveis, que são responsáveis por transportar cerca de 40% das pessoas que realizam viagens diariamente na cidade. Em contra partida tem-se apenas 3,3% dos veículos em circulação (ônibus) transportando a maioria das pessoas (54,5%). Com relação ao constante crescimento da frota de motos, verifica-se que este modo já tem

uma participação significativa no percentual de veículos em circulação (maior que 15%), mas transportando apenas 7% das pessoas.

6.5 Relações Específicas de Engenharia de Tráfego

Foram realizadas algumas análises exclusivamente sobre parâmetros de engenharia de tráfego, para identificar suas correlações e posteriormente com os níveis de ruído. Uma das relações mais tradicionais da engenharia de tráfego é a relação entre velocidade e fluxo, conforme já falado e apresentado preliminarmente nesta tese. A partir da coleta de dados realizada foi possível construir um gráfico de dispersão que, conforme esperado, apresentou o comportamento tradicional da variação da velocidade em relação ao fluxo de veículos, conforme apresentado na Figura 6-16. Isto é, a velocidade decresce com o aumento do fluxo veicular. A tangente do gráfico obtida foi igual a $-0,072$.

Esta relação, no que diz respeito a ruído, proporciona uma situação ambígua, visto que o aumento do tráfego tende a aumentar a emissão sonora, enquanto a diminuição da velocidade tende a diminuí-la. Esta relação será melhor discutida posteriormente.

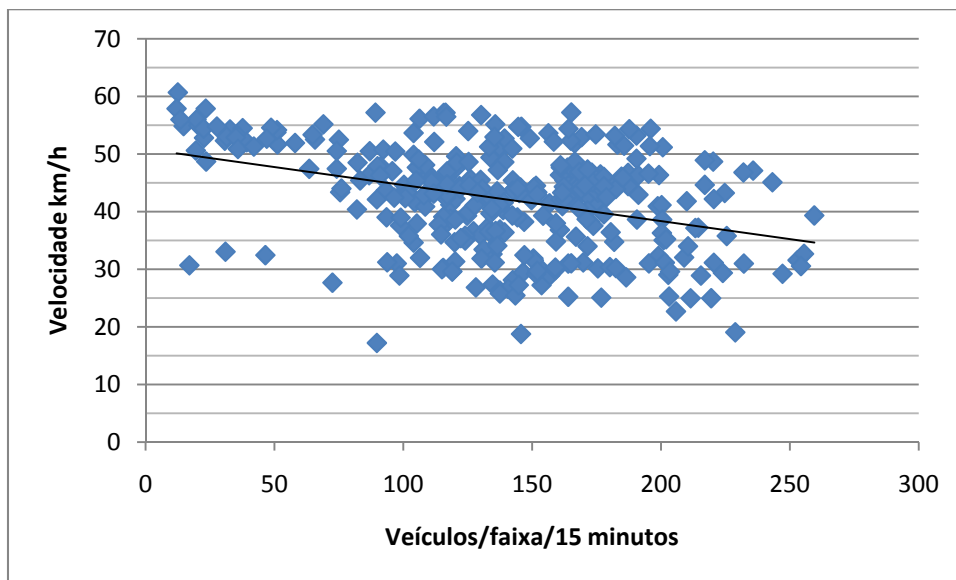


Figura 6-16 – Variação da velocidade média em função do número de veículos (fluxo)

A análise da figura anterior permite verificar a diminuição da velocidade à medida que o fluxo veicular aumenta. No entanto, uma vez que as pesquisas foram feitas em diversos corredores, com diferentes características, tanto de fluxo quanto de

configuração geométrica, a nuvem de dispersão é larga, o que leva a um baixo coeficiente de determinação estatística R^2 (0,19). Isto é, para cada corredor em especial, ter-se-ia uma diferente constante para um modelo calibrado por regressão linear simples do tipo $y = a.x + b$ para prever a velocidade média em função do fluxo veicular. No entanto, **assumiu-se** para aplicação nesta pesquisa que a inclinação da reta tende a ser a mesma (para os dados do presente estudo igual a -0,072), conforme exemplificado na Figura 6-17.

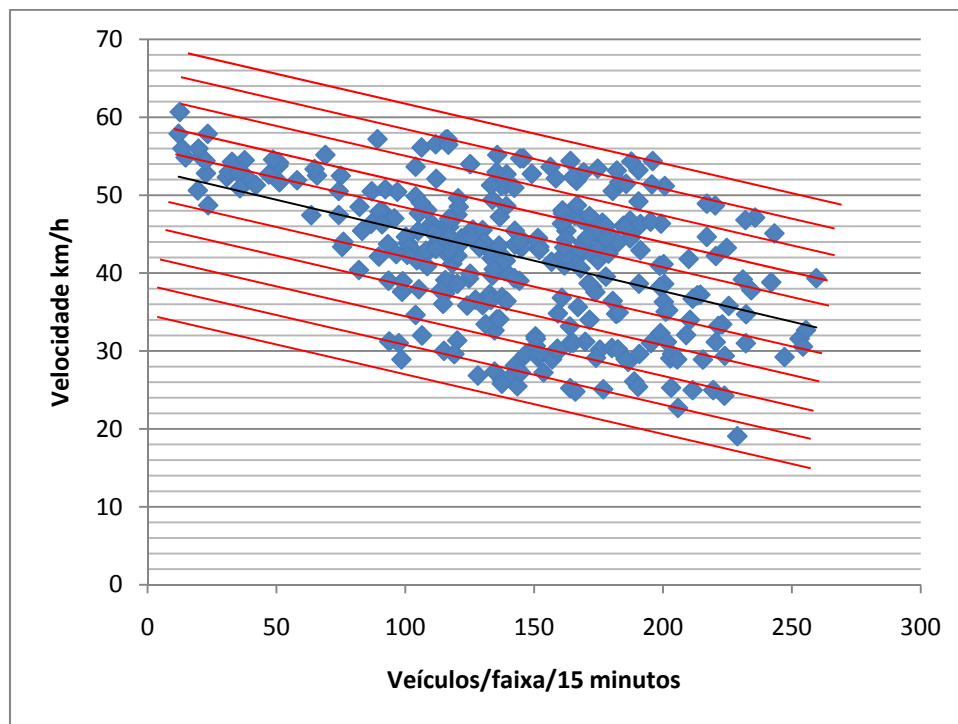


Figura 6-17 – Linhas de tendência (ábaco) para diminuição da velocidade em função do fluxo veicular

Dessa forma, é possível obter empiricamente variação da velocidade em função do ábaco obtido. Salienta-se que este procedimento tem como **objetivo único mensurar a ordem de grandeza da variação da velocidade média** em função das variações de fluxo veicular, para posterior **aplicação junto ao modelo**. Para a definição de um modelo específico de predição de velocidade média em função de fluxo veicular urbano, seriam necessários estudos mais aprofundados e focados primordialmente neste tema.

Para aplicar esta relação (e conhecer a velocidade em função do fluxo veicular em uma situação hipotética) é preciso saber um valor médio de velocidade em função do fluxo para cada via em questão. Desta forma, através da linha do ábaco mais próxima

é possível obter a constante ('b') que deve ser utilizada na equação obtida $V = b - 0,0625.Q$, onde V é velocidade média e Q é fluxo veicular médio em 15 minutos por faixa.

Outra relação entre parâmetros de engenharia de tráfego que foi possível ser obtido é a de *velocidade média x grau de saturação*. No caso, o grau de saturação foi obtido medindo-se, tanto o fluxo, quanto a formação de fila no local, que indica uma sobredemanda (por isso alguns valores maiores que 100%). A análise da Figura 6-18 permite verificar que a velocidade média cai proporcionalmente com o aumento do grau de saturação*. Tal fenômeno também era esperado, uma vez que altos valores de grau de saturação indicam alta densidade de tráfego, que por sua vez remete a baixas velocidades.

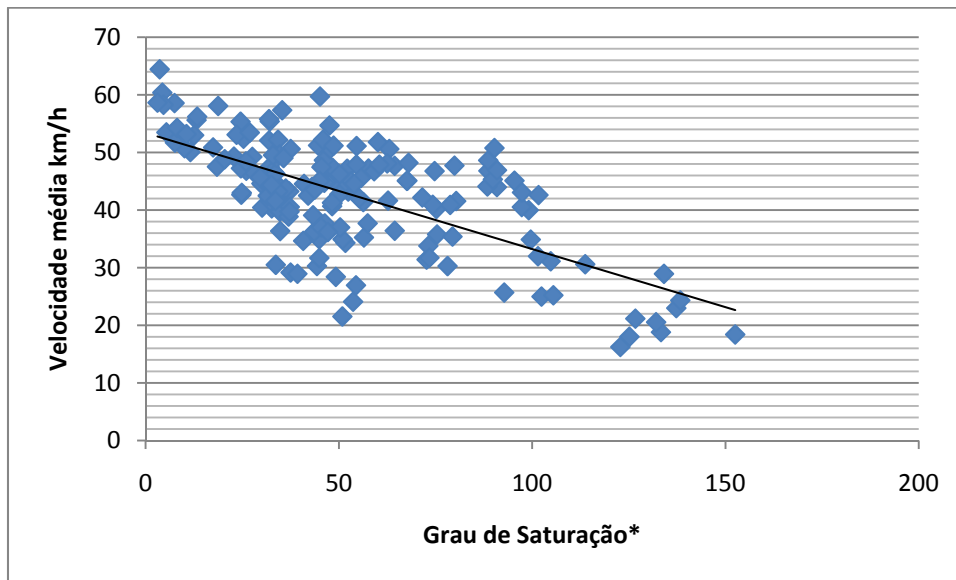


Figura 6-18 – Variação da velocidade média em função do grau de saturação (considerando filas)

Novamente, esta relação se mostra ambígua no que diz respeito ao ruído gerado, uma vez que altos valores de grau de saturação podem indicar fluxos significativos (o que aumentaria o ruído) enquanto velocidades mais baixas tendem a diminuir a emissão sonora. Esta relação também será melhor discutida posteriormente, identificando seus efeitos sobre os níveis de ruído.

6.6 Relações entre Ruído x Indicadores de Engenharia de Tráfego

6.6.1 Relações Gerais

Em condições normais de fluxo, verifica-se que há uma relação entre aumento do ruído e fluxo de veículos, conforme pode ser visto na Figura 6-19 (pontos em amarelo). É importante destacar que algumas situações forçam um comportamento diferente desta relação, como os pontos marcados em vermelho e verde. A hachura vermelha destaca os pontos da Linha Verde, os quais possuem uma velocidade média superior, bem como uma pavimentação diferente (concreto) e mais ruidosa. Já a hachura verde destaca os pontos especiais do Expresso Tiradentes e de Bogotá, onde mesmo com um fluxo médio muito baixo de veículos (da ordem de 8 veículos hora considerando pico e entre pico), verifica-se níveis de ruído expressivos. Nos dois locais o pavimento também é diferente e mais ruidoso (concreto e piso intertravado).

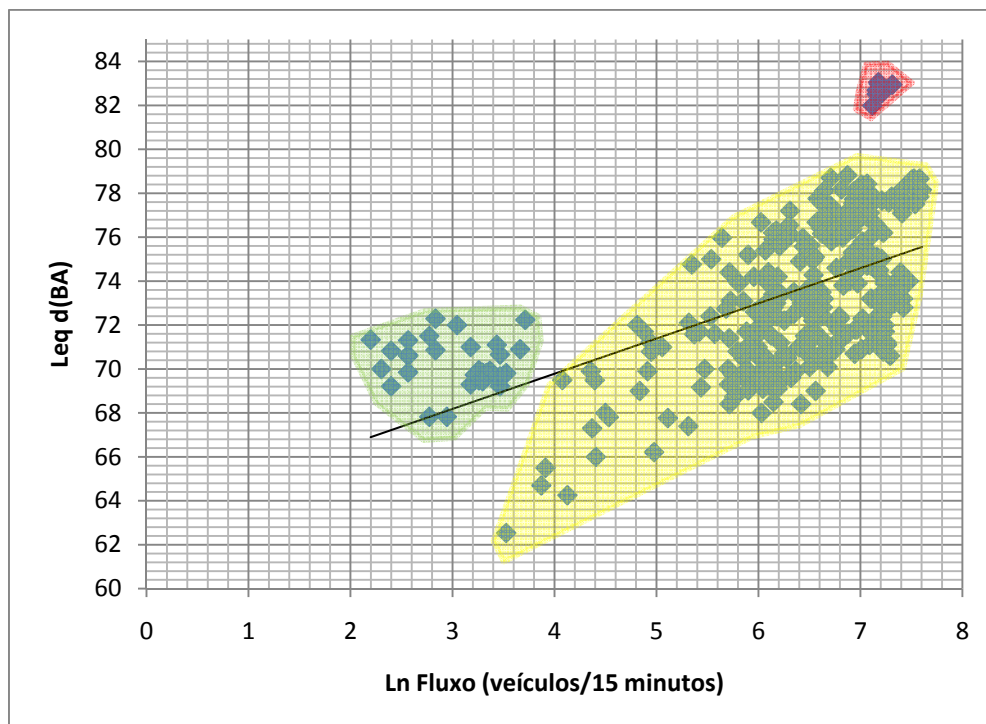


Figura 6-19 – Variação do ruído em função do aumento do número de veículos (logaritmo neperiano)

O comportamento da relação entre ruído e velocidade é similar, com as mesmas ressalvas quanto à linearidade da nuvem de dispersão dos pontos, conforme pode ser visto na Figura 6-20.

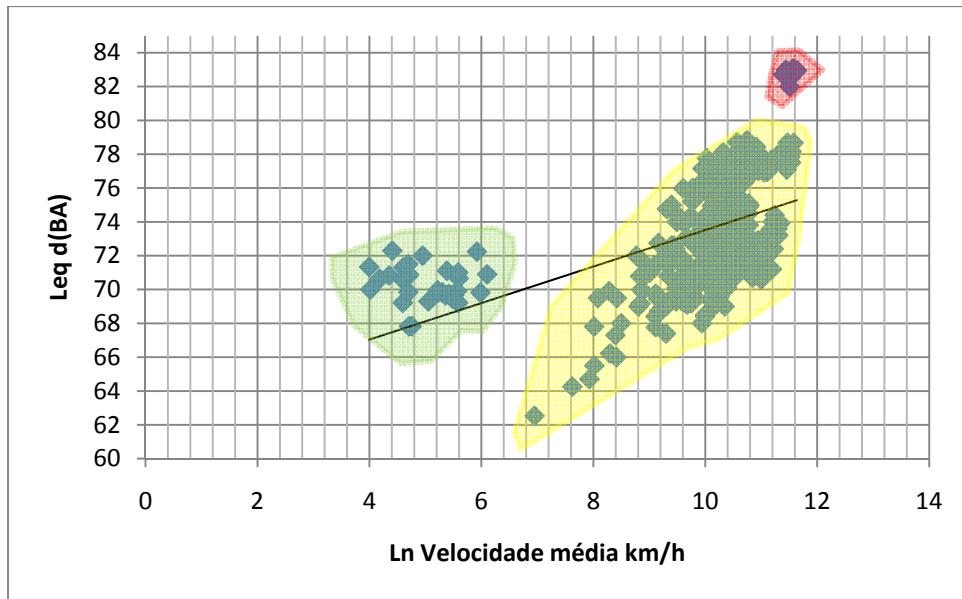


Figura 6-20 – Variação do ruído em função do aumento do número de veículos (logaritmo neperiano)

6.6.2 Investigação da Relação entre Níveis de Ruído e Grau de Saturação

Quando a análise é feita em relação ao grau de saturação (GS) médio verificado na via, observa-se um comportamento diferente, que tende à estabilização ou diminuição para altos valores de GS, conforme pode ser visto na Figura 6-21. A linha vermelha desenhada no gráfico indica a tendência dos valores máximos observados.

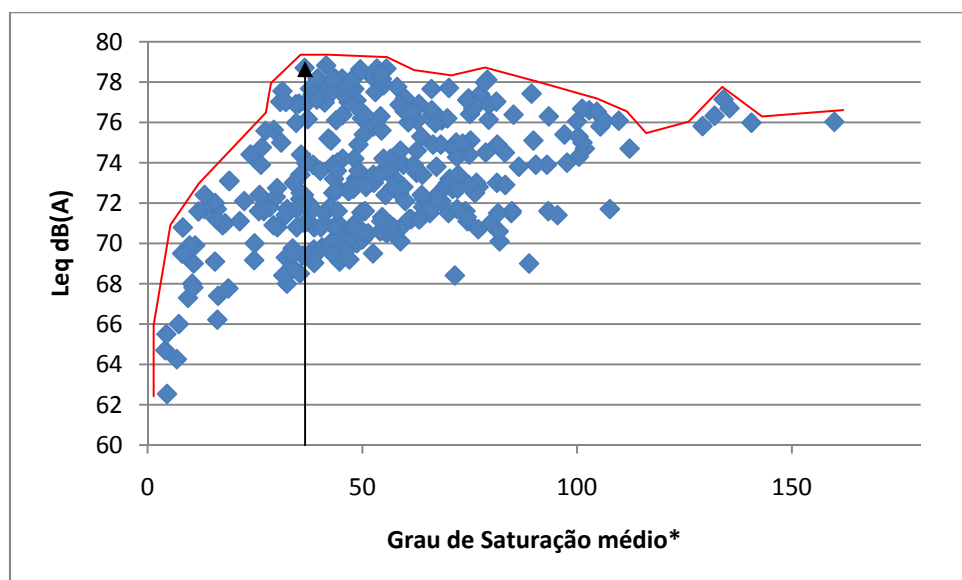


Figura 6-21 – Variação do ruído em função do grau de saturação (GS)

Conforme também destacado na Figura anterior (linha preta), o pico de ruído ocorreu para um grau de saturação médio (todos os corredores) da ordem de 40%. Para graus de saturação dessa magnitude tem-se velocidade de fluxo livre, o que pode indicar que, em virtude do maior avanço tecnológico dos motores dos veículos nas últimas décadas, bem como da aerodinâmica dos mesmos, o pavimento (maior parcela de ruído em altas velocidades) pode estar sendo preponderante na emissão de ruído.

Considerando que o parâmetro grau de saturação é adimensional, é possível ter o mesmo grau de saturação para fluxos de veículos totalmente diferentes, dependendo da capacidade da via. Desta forma, construiu-se uma nova relação onde o grau de saturação é multiplicado pelo fluxo da via (dividido por 100 para trabalhar com melhores ordens de grandeza) para corrigir o problema e realizar nova avaliação, conforme pode ser visto na Figura 6-22.

Realizando este procedimento adicional verifica-se que existe um patamar para o qual o comportamento da relação é praticamente constante e com tendência de diminuição para valores maiores. Ou seja, por este indicador também se verifica uma tendência de estabilização ou até diminuição do ruído para elevados graus de saturação.

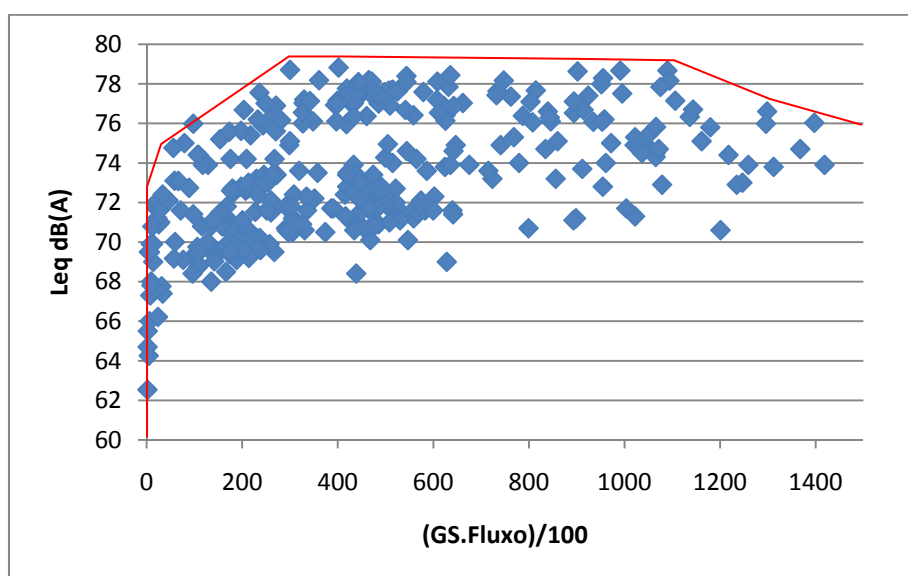


Figura 6-22 – Variação do ruído em função do grau de saturação x fluxo

Para aprofundar a investigação destas relações decidiu-se realizar análises estatísticas adicionais com a ajuda do software SPSS. Primeiramente testou-se dados de alguns corredores isolados, conforme ilustrado a título de exemplo na Figura 6-23, Figura 6-24 e Figura 6-25. Foram analisadas 11 diferentes curvas, com intuito de

verificar aquela que mais se aproximaria do comportamento dos pontos mensurados, retornando melhores valores para os testes estatísticos realizados. As tendências analisadas foram:

Estimativa Logística (S). $Y = e^{(b_0 + (\frac{b_1}{t}))}$ 6.3

Linear (Linear). $Y = b_0 + b_1 \cdot t$ 6.4

Logarítmica (Logarithmic). $Y = b_0 + b_1 \cdot \ln(t)$ 6.5

Inversa (Inverse). $Y = b_0 + \frac{b_1}{t}$ 6.6

Quadrática (Quadratic). $Y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2$ 6.7

Cúbica (Cubic). $Y = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2 + b_3 \cdot t^3$ 6.8

Potência (Power). $Y = b_0 \cdot (t^{b_1})$ 6.9

Composta (Compound). $Y = b_0 \cdot (b_1^t)$ 6.10

Logística (Logistic). $Y = 1 \frac{1}{(1/u + (b_0 \cdot (b_1^t)))}$ 6.11

Crescimento (Growth). $Y = e^{(b_0 + (b_1 \cdot t))}$ 6.12

Exponencial (Exponential). $Y = b_0 \cdot (e^{(b_1 \cdot t)})$ 6.13

Onde:

- Y é a variável dependente (Leq);
- b_0, b_1, \dots, b_n são os coeficientes;
- t é a variável independente.

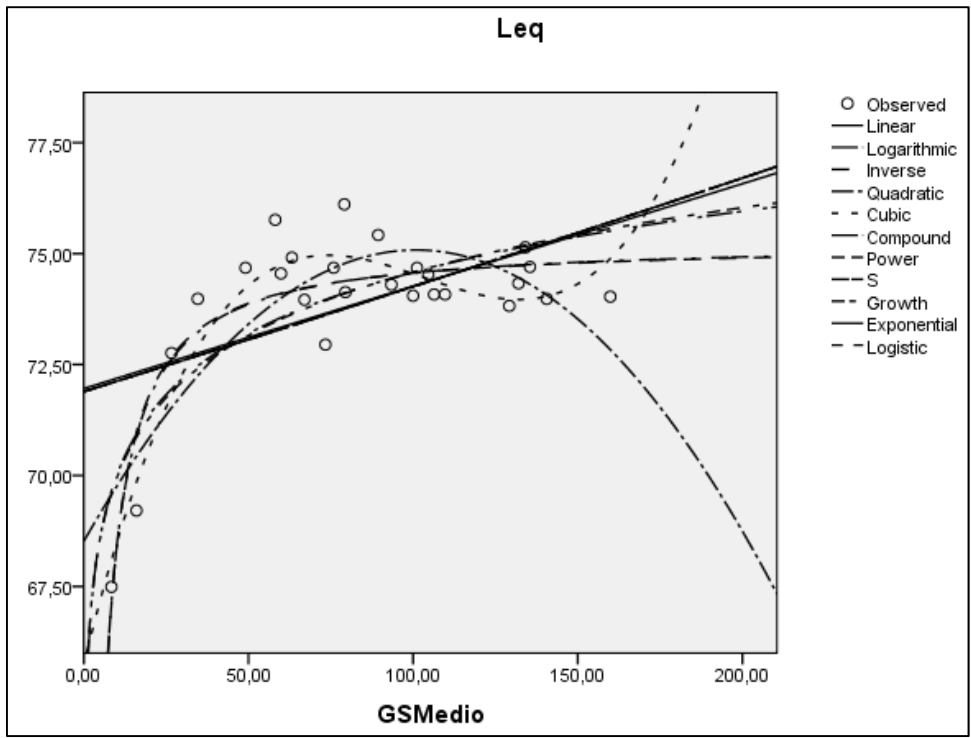


Figura 6-23 – Variação do ruído em função do grau de saturação médio (Ponto Av. Amazonas 1)

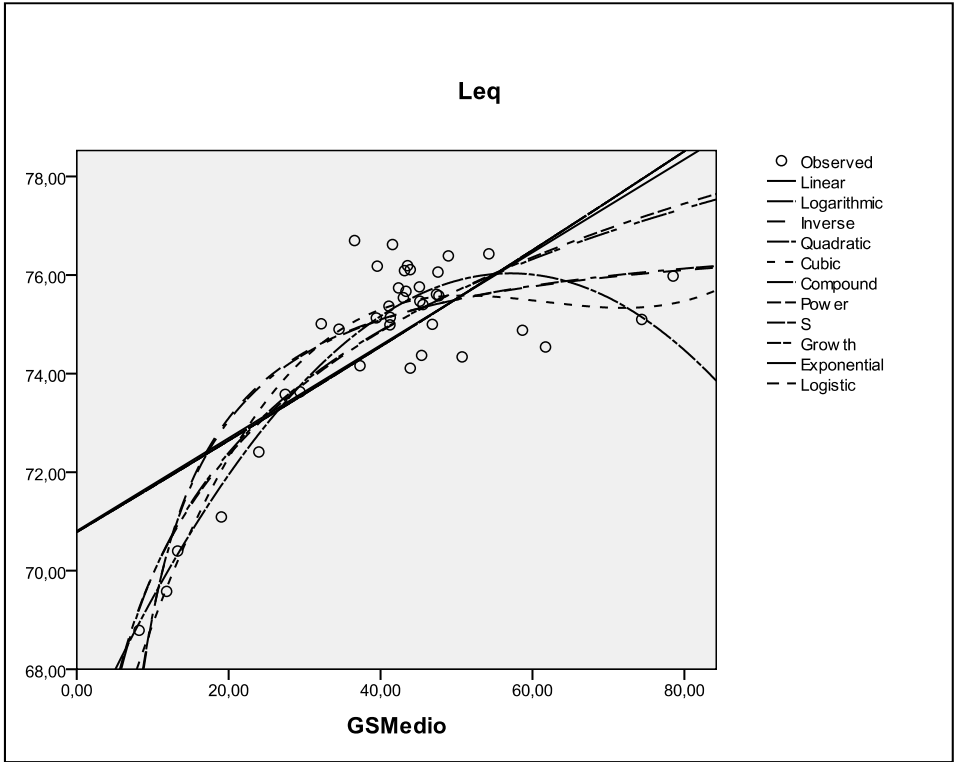


Figura 6-24 – Variação do ruído em função do grau de saturação médio (Ponto Av. Amazonas 2)

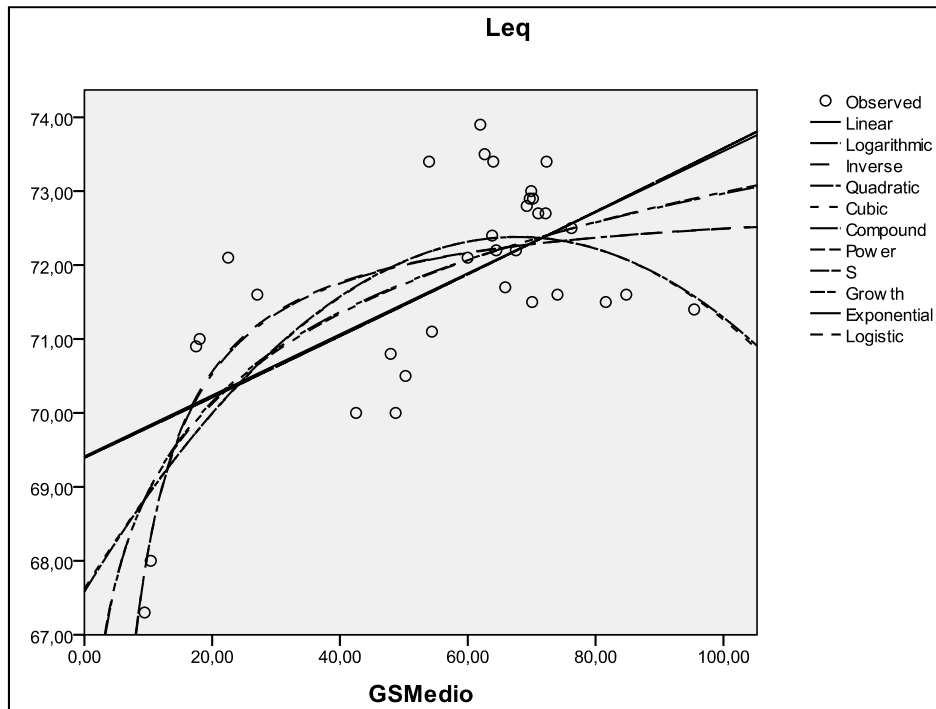


Figura 6-25 – Variação do ruído em função do grau de saturação médio (Ponto Av. Pedro II 1)

Dentre todas as tendências avaliadas, as melhores correlações foram obtidas para a curva de comportamento cúbico, Est. Logística (S) e quadrática, conforme pode ser visto nas Tabelas a seguir, respectivamente, para os pontos da Av. Amazonas número 1, número 2 e da Av. Pedro II número 1. Estas curvas indicam que os pontos (valores de níveis de ruído) tendem a se estabilizar com o aumento do grau de saturação médio, ou a diminuir.

Tabela 6-1 – Resultados dos testes de correlação para o ponto Av. Amazonas número 1

Equação	Modelo Sumário					Parâmetros Estimados			
	R2	teste F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Linear	,260	8,427	1	24	,008	71,959	,023		
Logarítmica	,579	33,052	1	24	,000	65,427	1,987		
Inversa	,790	90,302	1	24	,000	75,244	-68,218		
Quadrática	,656	21,896	2	23	,000	68,519	,130	-,001	
Cúbica	,816	32,628	3	22	,000	65,753	,305	-,003	,000
Composta	,263	8,581	1	24	,007	71,891	1,000		
Potência	,586	33,968	1	24	,000	65,601	,028		
Est. Logística	,801	96,624	1	24	,000	4,321	-,958		
Crescimento	,263	8,581	1	24	,007	4,275	,000		
Exponencial	,263	8,581	1	24	,007	71,891	,000		
Logística	,263	8,581	1	24	,007	,014	1,000		

Tabela 6-2 – Resultados dos testes de correlação para o ponto Av. Amazonas número 2

Equação	Modelo Sumário					Parâmetros Estimados			
	R2	teste F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Linear	,516	39,436	1	37	,000	70,805	,094		
Logarítmica	,747	109,198	1	37	,000	61,682	3,576		
Inversa	,788	137,250	1	37	,000	77,103	-80,133		
Quadrática	,833	89,747	2	36	,000	66,352	,339	-,003	
Cúbica	,861	72,075	3	35	,000	63,843	,603	-,010	,000
Composta	,519	39,930	1	37	,000	70,785	1,001		
Potência	,754	113,337	1	37	,000	62,430	,049		
Est. Logística	,798	146,467	1	37	,000	4,346	-1,105		
Crescimento	,519	39,930	1	37	,000	4,260	,001		
Exponencial	,519	39,930	1	37	,000	70,785	,001		
Logística	,519	39,930	1	37	,000	,014	,999		

Tabela 6-3 – Resultados dos testes de correlação para o ponto Av. Pedro II número 1

Equação	Modelo Sumário					Parâmetros Estimados			
	R2	Teste F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Linear	,381	19,055	1	31	,000	69,412	,041		
Logarítmica	,494	30,253	1	31	,000	64,912	1,749		
Inversa	,566	40,472	1	31	,000	72,974	-48,344		
Quadrática	,513	15,771	2	30	,000	67,581	,142	-,001	
Cúbica	,513	10,164	3	29	,000	67,621	,138	-,001	,000
Composta	,384	19,350	1	31	,000	69,395	1,001		
Potência	,500	31,010	1	31	,000	65,094	,025		
Est. Logística	,576	42,115	1	31	,000	4,290	-,688		
Crescimento	,384	19,350	1	31	,000	4,240	,001		
Exponencial	,384	19,350	1	31	,000	69,395	,001		
Logística	,384	19,350	1	31	,000	,014	,999		

Para o ponto número 1 da Av. Amazonas, verifica-se que apesar do maior R^2 (0,816) ter sido obtido para a curva cúbica, a curva do tipo (S) também obteve um significativo R^2 (0,801) e um valor bem superior para o teste F. Comportamento idêntico foi verificado no outro ponto de pesquisa desta avenida (número 2). Para o ponto número 1 da Av. Pedro II, ainda que com valores médios menores que os verificados para a Av. Amazonas, o maior coeficiente de determinação R^2 foi verificado para a curva (S), apresentando ainda o maior valor para o teste F. De forma geral verificou-se ainda que todas as curvas testadas apresentaram ótimos índices de significância, conforme pode ser verificado pela coluna *Sig.*

Estes pontos foram utilizados a título de exemplo e infere-se que todos os outros apresentaram comportamento similar. De forma que a avaliação pode ser feita conjuntamente. A Figura 6-26 apresenta a nuvem de dispersão com a linha

representativa da curva que melhor se ajustou aos pontos (preta – Curva S), uma seta (em azul) indicando o grau de saturação que resultou no maior nível de ruído, e ainda uma linha de contorno aos valores máximos (em vermelho).

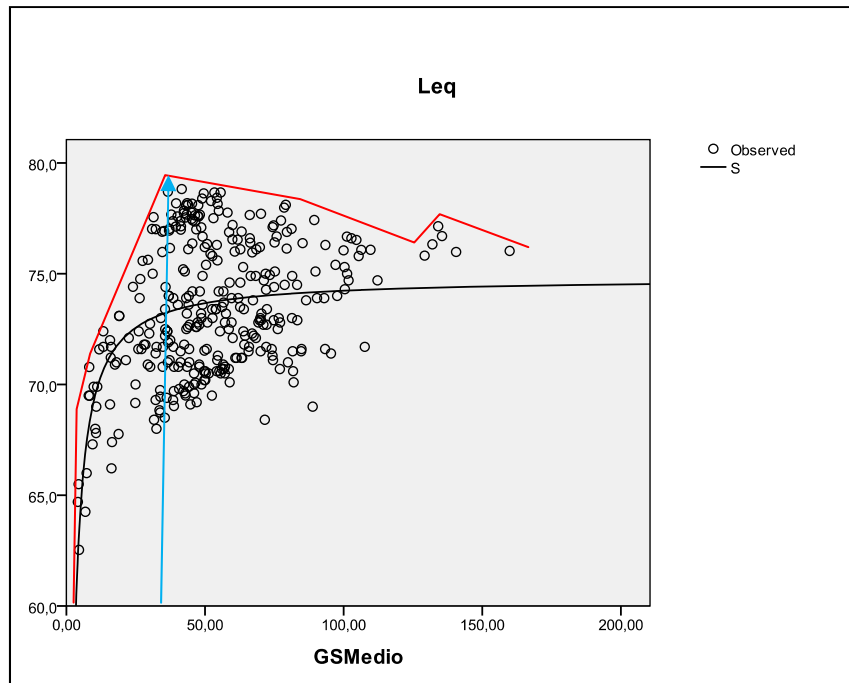


Figura 6-26 – Variação do ruído em função do grau de saturação (todos os pontos)

De forma geral, observando a Figura 6-27, fica claro que parece mesmo haver uma tendência de diminuição dos níveis de ruído para valores elevados de grau de saturação. Ao realizar o teste de tendência (correlação) para todos os dados simultaneamente verifica-se que a Curva (S) é a que apresenta o maior R^2 , bem como o maior valor para o teste F (Tabela 6-4). No entanto, com relação aos baixos valores de R^2 obtidos, atribui-se isto à adimensionalidade do indicador GS, que permite significativas diferenças no número de fontes em funcionamento simultaneamente (veículos).

Tabela 6-4 – Resultados dos testes de correlação para todos os dados (pontos)

Equação	Modelo Sumário					Parâmetros Estimados			
	R2	Teste F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Linear	,137	51,564	1	326	,000	70,940	,045		
Logarítmica	,220	92,151	1	326	,000	63,779	2,491		
Inversa	,238	101,748	1	326	,000	74,792	-53,470		
Quadrática	,178	35,136	2	325	,000	68,981	,120	,000	
Cúbica	,230	32,325	3	324	,000	66,154	,307	-,004	1,510E-5
Composta	,141	53,680	1	326	,000	70,859	1,001		
Potência	,231	97,796	1	326	,000	64,066	,035		
Est. Logística	,253	110,624	1	326	,000	4,315	-,758		
Crescimento	,141	53,680	1	326	,000	4,261	,001		
Exponencial	,141	53,680	1	326	,000	70,859	,001		
Logística	,141	53,680	1	326	,000	,014	,999		

6.6.3 Investigação da Relação entre Níveis de Ruído e Grau de Saturação (2)

Para assegurar que a conclusão que os dados estão permitindo chegar, sobre a correlação entre ruído e grau de saturação, é verídica propõe-se analisar um último experimento feito sobre este tema.

Conforme explanado no capítulo de metodologia, realizou-se uma medição de ruído de um dia inteiro (24h) do 11º andar de um edifício lindeiro a um elevado que constantemente congestiona (picos da manhã e da tarde). Paralelamente a isto fotografou-se o referido elevado para se ter um indicador qualitativo do grau de saturação que o mesmo se encontrava, no instante de cada período.

A Figura 6-30 apresenta o gráfico do tempo total de medição realizado. Nele é possível verificar que existe uma diminuição de ruído entre meia noite e 6:00 horas da manhã, no entanto, sempre acima de 60 dB(A). A partir deste horário o ruído fica sempre acima deste patamar (70 dB(A)) até próximo de 18:00h, quando é possível identificar uma leve redução até por volta de 20:00 horas, tendo nova tendência de diminuição às 21:00 horas.

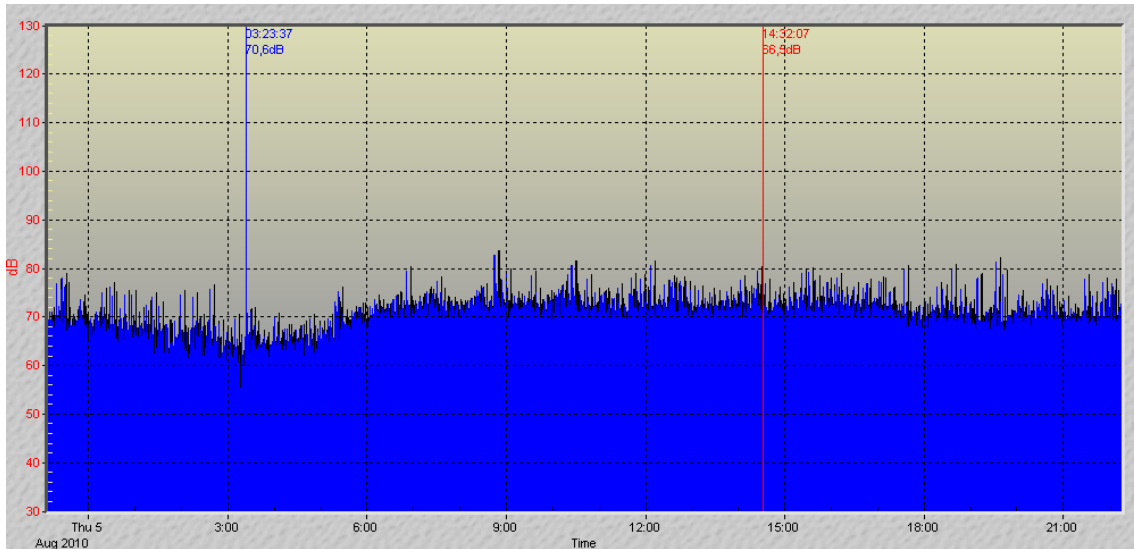


Figura 6-27 – Variação dos níveis de ruído ao longo das 24 horas de medição

Posteriormente, tabulou-se os resultados de nível sonoro equivalente (L_{eq}) para cada intervalo de uma hora, conforme apresentado na Figura 6-31. É possível verificar que o L_{eq} é praticamente constante ao longo do dia, com reduções à partir de 23:00h até as 6:00h da manhã, quando permanece constante até cerca de 18h, similarmente ao comportamento do gráfico anterior.

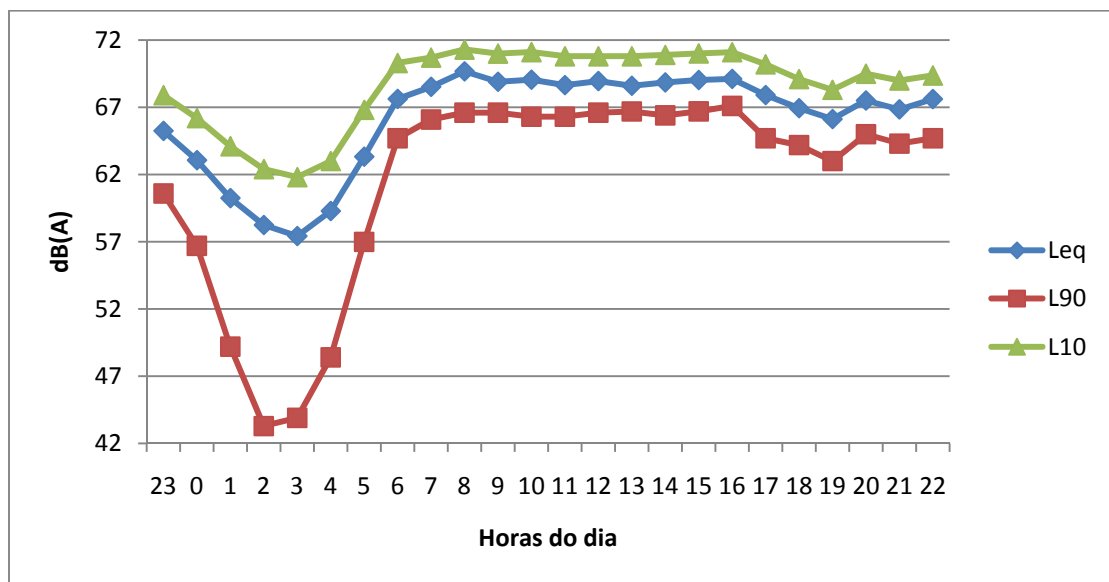


Figura 6-28 – Variação do nível sonoro equivalente (L_{eq}) ao longo das 24 horas de medição

Ou seja, por volta de 18:00h e 19:00h verifica-se uma diminuição dos níveis de ruído, voltando a aumentar às 20:00h. Conforme constatado no experimento, este horário foi quando o fluxo no sentido Centro >> Bairro apresentava filas significativas (congestionamentos), conforme será visto a seguir.

As fotografias apresentadas nas figuras a seguir ilustram os principais intervalos válidos para discussão, informando ainda o nível sonoro equivalente obtido naquele instante.



Figura 6-29 – Fotografias tiradas durante as 24h de medição (com informação de Leq)

A análise das fotos com informações sobre o Leq corrobora as constatações feitas preliminarmente de forma quantitativa da relação entre níveis de ruído e grau de saturação. Ou seja, os menores Leq foram obtidos na hora de pico do sistema, quando o número de veículos na via era significativamente maior, no entanto, horário em que a velocidade média foi muito baixa.

Para se ter uma idéia da ordem de grandeza, uma vez que reduções da ordem 3 dB correspondem a uma diminuição de cem por cento do nível de pressão sonora, o ruído neste local na hora de pico, com elevado grau de saturação, apresentou pressões sonoras com magnitude correspondente à metade do que é verificado nos entre picos.

Esta constatação corrobora a hipótese levantada de que houve um avanço significativo na tecnologia dos motores dos veículos, de forma que, atualmente, em certas condições, a velocidade média passa a ser o fator preponderante na geração de ruído. Fato que corrobora esta afirmação de que houve uma diminuição de ruído são as recentes resoluções do CONAMA, que regulamentam os níveis máximos que os veículos podem emitir, conforme já sucintamente apresentado em capítulos anteriores.

Por último, avaliando esta conclusão com a relação clássica da engenharia de tráfego já apresentada, é possível inferir que a diminuição do número de veículos em circulação pode mesmo aumentar os níveis de ruído, em função do aumento de velocidade que ocorrerá. Esta hipótese foi analisada e será apresentado posteriormente com a aplicação do modelo.

6.7 Análise de Ruído Per Capita ao Longo do Dia

Ainda com intuito de avaliar a geração de ruído em função do deslocamento de pessoas ao longo do dia nos centros urbanos, completando as análises feitas neste capítulo até então, calculou-se a geração de ruído per capita para os períodos de medição. Os valores apresentados na Figura 6-30 foram calculados a partir da média do nível sonoro equivalente (Leq) para todos os corredores pesquisados, transformados em pressão sonora, bem como a partir da média do número de pessoas transportadas em cada um destes corredores. Apenas a título de melhor apresentar a relação (ordem de grandeza dos valores) multiplicou-se a pressão sonora por 1000.

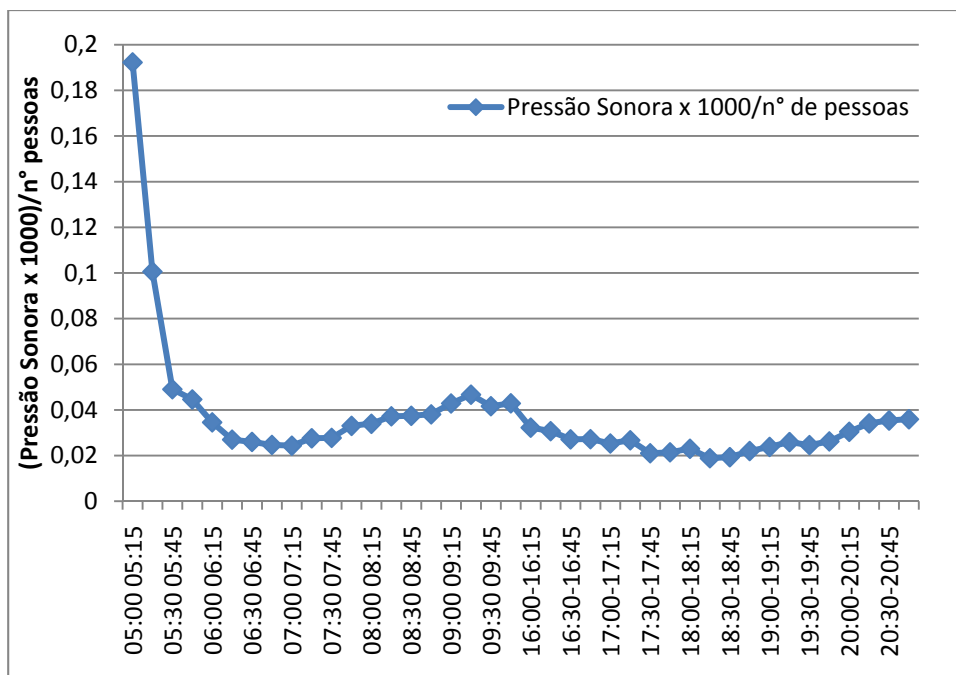


Figura 6-30 – Variação da produção de ruído per capita ao longo do dia

A análise da Figura anterior permite inferir que o ruído per capita (nível de pressão sonora) é significativamente maior no início da manhã, e depois diminui ao longo do dia, sendo maior nos entre picos. O que explica este comportamento são dois fatores básicos, a saber, (I) o número de pessoas que circula pela manhã é bastante pequeno, no entanto o ruído presente já é significativo quando há muitos ônibus (deixando as garagens) já circulando e (II), nos entre picos o número de pessoas transportadas cai, enquanto o ruído permanece praticamente constante.

Ainda é possível concluir que o ruído não aumenta proporcionalmente com o número de pessoas transportadas, sendo este influenciado por diversos outros parâmetros preponderantes como, por exemplo, a divisão modal característica referente às viagens dessas pessoas.

6.8 Influência da Atividade Urbana

Finalizando este capítulo, realizou-se ainda uma avaliação dos níveis de ruído presentes nos centros urbanos em uma abordagem que tenta desconsiderar a influência do tráfego urbano. É sabido, conforme bibliografia especializada, que o nível percentil L90 é um indicador de ruído que tende a desconsiderar influências de fontes intermitentes, no caso, o tráfego veicular. A Tabela 6-5 apresenta os valores mínimos,

máximos e médios de L90 para os pontos de medição, enquanto a Figura 6-31 apresenta o gráfico dos valores médios por ponto.

Tabela 6-5 – Resultados de L90 para os pontos de medição

Ponto	L90Min	L90Max	L90Med
Amazonas 1: manhã	54,7	69,2	62,9
Amazonas 1: tarde	57,9	69,8	
Amazonas 2: manhã	57,7	69,9	65,875
Amazonas 2: tarde	65,8	70,1	
Antônio Carlos 1: tarde	58,4	66,8	62,6
Antônio Carlos 2: manhã	57	66	61,175
Antônio Carlos 2: tarde	58,7	63	
Linha Verde (MG010)	73,1	74,8	
Pedro II 1: manhã	46,4	66,1	57,8
Pedro II 1: tarde	55,7	63	
Pedro II 2: manhã	56,3	71	66,425
Pedro II 2: tarde	66	72,4	
Pedro II 3: manhã	46	66	58,25
Pedro II 3: tarde	57	64	
Sebastião de Brito	48,9	62,3	55,6
Silviano Brandão 1: manhã	56	61	59,425
Silviano Brandão 1: tarde	56,7	64	
Silviano Brandao 2: manhã	49	65	62,5
Silviano Brandao 2: tarde	62	74	
Expresso Tiradentes	57,5	59,4	58,45
Bogotá: manhã	58,3	61	59,95
Bogotá: tarde	58,4	62,1	

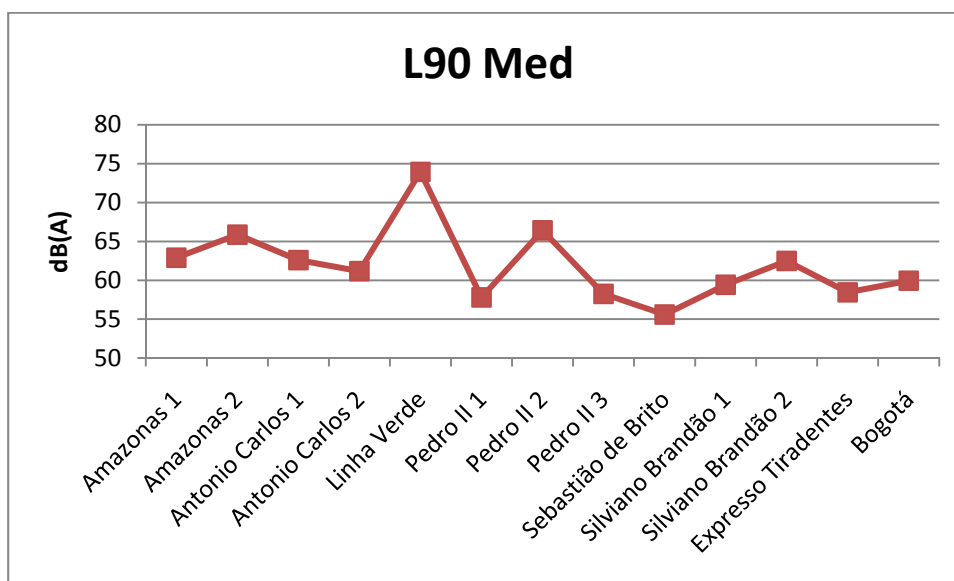


Figura 6-31 – L90 Médio por ponto pesquisado

A análise da tabela e figura anterior permite inferir que, de forma geral, os valores de L90 obtidos são elevados, estando compreendidos (em valores médios) entre 55 e 75 dB. A principal conclusão que se tira deste fato é que, independentemente do tráfego veicular, existe uma atividade urbana naturalmente ruidosa. Este fato foi também observado de forma qualitativa em campo, em virtude das observações feitas durante as medições, onde vários eventos alheios ao tráfego foram identificados como causadores de ruído.

Neste contexto de atividade urbana (características funcionais) em diferentes classificações de hierarquização viária, a Tabela 6-6 apresenta as considerações propostas pela CET (1982), em seu boletim técnico número 31.

Tabela 6-6 – Características funcionais de classificação viária (FONTE: CET - SP (1982). Boletim técnico n.º 31)

Catego- ria da via	Classe	Tipo de tráfego	Uso do solo lindeiro		Espaçamento (km)	Função da via	Comprimen- -to típico de viagem (km)	Participa- ção no sistema viário (%)
			Acesso aos lotes	Desenvolvimen- to comercial				
Expressa	1ª e 2ª categorias	Exclusivamente de passagem	Controle total	Somente se não relacionado com a operação da via	4 - 6	Ligação rápida no âmbito metropolitano	> 4,5	0 a 8
Arterial	1ª e 2ª categorias	Exclusivamente de passagem	Controle parcial	Existente tolerado. Não permitido novo	1 - 3	Ligação metropolitana e bolsões urbanos	> 1,5	20 a 35
	Comercial	Predominantemente de passagem	Controle parcial	Tolerado	.	.	.	
Coletora	1ª e 2ª categorias	De passagem e local (equilibrados)	Livre	Permitido	.	Ligação de bairros	< 1,5	
Local	Residencial	Predominantemente local	Livre	Não permitido	.	Ligação de unidade de vizinhança	< 1,0	65 a 80
	Outras	Predominantemente local	Livre	Permitido	.	.	.	

Em especial, ainda sobre os dados obtidos no presente trabalho, comenta-se sobre o ruído de fundo presente no eixo ambiental na cidade de Bogotá. O menor valor observado foi 58 dB. Ou seja, apesar de no local só passar ônibus (o que a priori contribuiria para se ter baixos níveis de ruído), o ruído natural do local já é de certa forma significativo. O mesmo raciocínio pode ser feito para o Expresso Tiradentes.

6.9 Síntese das Conclusões Obtidas

Com base nas discussões apresentadas neste capítulo é possível fazer uma resenha das conclusões, de forma a tornar mais didática a explanação dos resultados, conforme listadas a seguir:

- Os níveis de ruído não aumentam proporcionalmente com o aumento da capacidade de transporte do sistema, havendo uma tendência de estabilização;
- Os níveis de ruído não aumentam proporcionalmente com o aumento do total de pessoas transportadas pelo sistema, havendo também uma tendência de estabilização;
- O sistema de transporte opera com ociosidade de cerca de 45%, de forma geral;
- O sistema de transporte coletivo opera com ociosidade da ordem de 40% no pico da manhã e 25% no pico da tarde nos sentidos de maior demanda;
- O sistema de transporte coletivo opera com ociosidade da ordem de 30% no pico da manhã e 20% no pico da tarde nos sentidos de maior demanda;
- O modo automóvel possui pouca variação da ocupação média diária, operando com ociosidade da ordem de 60%;
- A demanda de transporte (número de pessoas se deslocando) no pico da tarde é cerca de 25% maior do que no pico da manhã;
- Não existe, a priori, relação direta entre níveis de ruído e percentual de utilização de determinado modo de transporte;
- A divisão modal do transporte de passageiros varia ao longo do dia, sendo que o modo coletivo é predominante nos picos, enquanto o modo automóvel é superior nos entre picos (maior número de pessoas se deslocando por este modo);
- Apesar da frota de ônibus ter pouca participação no montante de veículos em circulação (3,3%), este modo é responsável por transportar mais da metade das pessoas (54,5%);
- Para elevados Graus de Saturação o ruído possui comportamento atípico, permanecendo constante ou até diminuindo;
- A variação de ruído per capita é significativa ao longo do dia, sendo maior no amanhecer e nos entre picos;
- Independentemente do tráfego, a atividade urbana é naturalmente ruidosa, comprovada pela avaliação dos valores médios do nível percentil L90.

Por fim, uma vez concluído que existe uma ociosidade no sistema de transporte, utilizar-se-á este valor encontrado para simular, com o modelo a ser calibrado no próximo capítulo, o que aconteceria com os níveis de ruído caso esta ociosidade fosse otimizada. As simulações e considerações feitas serão melhor explanadas no capítulo específico.

7 Calibração do Modelo

Para se contemplar os objetivos propostos nesta tese, além de realizar as análises do capítulo anterior, também foi necessário desenvolver um modelo de predição de ruído que fosse capaz de perceber significativas variações nas usuais variáveis independentes usadas em modelagem de ruído de tráfego, contemplando picos e entre picos.

Dessa forma, procedeu-se a calibração de um modelo de predição, alterado com parâmetros de engenharia de tráfego, conforme estruturado no capítulo de metodologia, para que as variáveis independentes do mesmo fossem basicamente em função do deslocamento de pessoas (ao invés de veículos) e dados da divisão modal, conforme integralmente explanado a seguir.

7.1 Procedimentos para Obtenção do Modelo de Predição de Ruído

Uma vez coletados os dados, conforme já apresentado no capítulo 4, iniciou-se o processo para calibração do modelo de predição de ruído de tráfego com variáveis independentes usuais para que, posteriormente, se procedesse às alterações descritas no parágrafo anterior. Isto é, conforme já mencionado, o modelo a ser calibrado é uma ferramenta para ser usada prioritariamente por planejadores de transporte urbano para identificação dos impactos neste indicador (ruído) a partir dos vários cenários avaliados ou desejados em um processo de planejamento.

Para realizar a calibração do modelo foi utilizado o software estatístico SPSS, conforme já mencionado. Inicialmente, os dados coletados foram organizados em planilhas do software Excel e posteriormente inseridos no software como dados do tipo 'numérico'. Nesta etapa, já foram realizados cálculos com os dados para obtenção de algumas relações, isto é, já foram consideradas como variáveis independentes os logaritmos neperianos dos diversos tipos de fluxo, do grau de saturação, fila, etc, bem como algumas relações como o inverso da largura da via, a relação entre velocidade e largura da via, etc.

Estes procedimentos foram baseados no que autores do mundo inteiro têm estudado e apresentado como possíveis e potenciais variáveis independentes, conforme pôde ser visto no capítulo de revisão bibliográfica da presente tese. A lista completa de todas as variáveis (52 independentes) consideradas inicialmente no processo de

calibração do modelo pode ser visualizada na Figura 7-1. Salienta-se que, além das variáveis apresentadas a seguir, outras também foram consideradas em interações iniciais mas que, no entanto, foram descartadas, seja pela complexidade de sua obtenção posteriormente, seja pela pouca representatividade na influência dos níveis de ruído perante as outras variáveis mais explicativas (como por exemplo presença de estacionamento, etc).

	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure
1	Local	String	25	0		None	None	18	Left	Nominal
2	Horario	String	15	0		None	None	8	Left	Nominal
3	Leq	Numeric	11	2		None	None	4	Right	Nominal
4	FluxoTotal	Numeric	11	0		None	None	8	Right	Nominal
5	VelMedia	Numeric	11	2		None	None	6	Right	Nominal
6	GSMedio	Numeric	11	2		None	None	6	Right	Nominal
7	FilaMedia	Numeric	10	0		None	None	6	Right	Nominal
8	LnAutoOP	Numeric	11	4		None	None	4	Right	Nominal
9	LnBUSOP	Numeric	12	4		None	None	4	Right	Nominal
10	LnCamOP	Numeric	14	4		None	None	4	Right	Nominal
11	LnMotoOP	Numeric	11	4		None	None	4	Right	Nominal
12	LnPesadoOP	Numeric	17	4		None	None	6	Right	Nominal
13	LnAutoAD	Numeric	11	4		None	None	4	Right	Nominal
14	LnBusAD	Numeric	12	4		None	None	4	Right	Nominal
15	LnCamAD	Numeric	14	4		None	None	4	Right	Nominal
16	LnMotoAD	Numeric	11	4		None	None	4	Right	Nominal
17	LnPesadoAD	Numeric	17	4		None	None	8	Right	Nominal
18	LnAutoTotal	Numeric	13	4		None	None	8	Right	Nominal
19	LnBusTotal	Numeric	12	4		None	None	6	Right	Nominal
20	LnCamTotal	Numeric	17	4		None	None	8	Right	Nominal
21	LnMotoTotal	Numeric	13	4		None	None	8	Right	Nominal
22	LnGSRealOP	Numeric	13	4		None	None	8	Right	Nominal
23	LnGSRealAD	Numeric	13	4		None	None	8	Right	Nominal
24	InversoLarVia	Numeric	16	4		None	None	9	Right	Nominal
25	LnInversoLargVia	Numeric	19	4		None	None	8	Right	Nominal
26	Pavimento	Numeric	17	0		None	None	7	Right	Nominal
27	DistMedCentroVia	Numeric	35	2		None	None	9	Right	Nominal
28	Vegetacao	Numeric	9	0		None	None	7	Right	Nominal
29	LarguraVia	Numeric	13	2		None	None	6	Right	Nominal
30	LnVelocidOP	Numeric	11	4		None	None	8	Right	Nominal
31	LnVelocidAD	Numeric	11	4		None	None	8	Right	Nominal
32	LnGSMedio	Numeric	11	4		None	None	7	Right	Nominal
33	LnFluxoTotal	Numeric	14	4		None	None	8	Right	Nominal
34	PercentualPesados	Numeric	11	4		None	None	6	Right	Nominal
35	LnPercentPesado	Numeric	12	4		None	None	12	Right	Nominal
36	LnVelocMedia	Numeric	12	4		None	None	8	Right	Nominal
37	Rampa	Numeric	5	0		None	None	5	Right	Nominal
38	GSRealOpcFila	Numeric	21	4		None	None	9	Right	Nominal
39	GSRealADcFila	Numeric	21	4		None	None	9	Right	Nominal
40	VelMedOP	Numeric	11	2		None	None	7	Right	Nominal
41	VelMedAD	Numeric	11	2		None	None	6	Right	Nominal
42	FilaOP	Numeric	11	0		None	None	11	Right	Nominal
43	FilaAD	Numeric	14	0		None	None	14	Right	Nominal
44	FilaOPs100	Numeric	11	2		None	None	11	Right	Nominal
45	FilaADs100	Numeric	11	2		None	None	11	Right	Nominal
46	GSs100OP	Numeric	11	4		None	None	11	Right	Nominal
47	GSs100AD	Numeric	11	4		None	None	11	Right	Nominal
48	ExpGSOPs100	Numeric	11	4		None	None	11	Right	Nominal
49	ExpGSADs100	Numeric	11	4		None	None	11	Right	Nominal
50	VelCubOP	Numeric	12	4		None	None	12	Right	Nominal
51	VelCubAD	Numeric	12	4		None	None	12	Right	Nominal
52	VelQuadOP	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
53	VelQuadAD	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale
54	HierarquiaViaria	Numeric	10	0		None	None	10	Right	Nominal
55	UsodoSolo	Numeric	11	0		None	None	7	Right	Nominal

Figura 7-1 - Variáveis testadas inicialmente no software SPSS

Onde:

1. é o local onde foi realizado as medições;
2. é o intervalo de tempo da medição (15 minutos);
3. é o Nível Sonoro Equivalente medido (Leq);
4. é o fluxo total de veículos (15 minutos);
5. é a velocidade média do fluxo dos dois sentidos;
6. é o Grau de saturação médio dos dois sentidos de fluxo;
7. é o tempo médio de ocorrência de fila nos dois sentidos de fluxo;
8. é o logaritmo neperiano do fluxo de automóveis do lado da via oposto à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
9. é o logaritmo neperiano do fluxo de ônibus do lado da via oposto à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
10. é o logaritmo neperiano do fluxo de caminhões do lado da via oposto à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
11. é o logaritmo neperiano do fluxo de motos do lado da via oposto à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
12. é o logaritmo neperiano do fluxo de veículos pesados (ônibus + caminhões) do lado da via oposto à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
13. é o logaritmo neperiano do fluxo de automóveis do lado da via adjacente à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
14. é o logaritmo neperiano do fluxo de ônibus do lado da via adjacente à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
15. é o logaritmo neperiano do fluxo de caminhões do lado da via adjacente à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
16. é o logaritmo neperiano do fluxo de motos do lado da via adjacente à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
17. é o logaritmo neperiano do fluxo de veículos pesados (ônibus + caminhões) do lado da via adjacente à instalação do medidor de nível de pressão sonora;
18. é o logaritmo neperiano do fluxo total de automóveis nos dois lados da via;
19. é o logaritmo neperiano do fluxo total de ônibus nos dois lados da via;
20. é o logaritmo neperiano do fluxo total de caminhões nos dois lados da via;
21. é o logaritmo neperiano do fluxo total de motos nos dois lados da via;

22. é o logaritmo neperiano do Grau de Saturação no sentido oposto da via considerando também a demanda não atendida (fila);
23. é o logaritmo neperiano do Grau de Saturação no sentido adjacente da via considerando também a demanda não atendida (fila);
24. é o inverso da largura da via;
25. é o logaritmo neperiano da variável número 24;
26. é o tipo de pavimento;
27. é a distância do medidor ao centro da via;
28. é a presença de vegetação;
29. é a largura da via;
30. é o logaritmo neperiano da variável número 40;
31. é o logaritmo neperiano da variável número 41;
32. é o logaritmo neperiano da variável número 6;
33. é o logaritmo neperiano da variável número 4;
34. é o percentual de veículos pesados no fluxo;
35. é o logaritmo neperiano da variável número 34;
36. é o logaritmo neperiano da variável número 5;
37. é a presença de rampa;
38. é o Grau de Saturação no sentido oposto da via considerando também a demanda não atendida (fila);
39. é o Grau de Saturação no sentido adjacente da via considerando também a demanda não atendida (fila);
40. é a velocidade média do fluxo no lado oposto da via à instalação do aparelho;
41. é a velocidade média do fluxo no lado adjacente da via à instalação do aparelho;
42. é o tempo médio de duração de filas no lado da via oposto à instalação do medidor;
43. é o tempo médio de duração de filas no lado da via adjacente à instalação do medidor;
44. é o tempo total de formação de fila no lado oposto da via dentro do intervalo de 15 minutos dividido por 100;
45. é o tempo total de formação de fila no lado adjacente da via dentro do intervalo de 15 minutos dividido por 100;
46. é o valor para o Grau de Saturação obtido para o sentido oposto à instalação do aparelho dividido por 100;

47. é o valor para o Grau de Saturação obtido para o sentido adjacente à instalação do aparelho dividido por 100;
48. é exponencial da variável número 46;
49. é exponencial da variável número 47;
50. é a velocidade média do fluxo no sentido oposto elevada ao cubo;
51. é a velocidade média do fluxo no sentido adjacente elevada ao cubo;
52. é a velocidade média do fluxo no sentido oposto elevada ao quadrado;
53. é a velocidade média do fluxo no sentido adjacente elevada ao quadrado;
54. é a hierarquia viária;
55. é o uso do solo.

A ocorrência de fila foi mensurada de forma a obter-se, naquele intervalo, a demanda reprimida, para que dessa forma pudesse ser obtida a real demanda (número de veículos que passaram por determinada seção + número de veículos em fila que não conseguiram passar).

Já as variáveis Pavimento, Vegetação, Hierarquia viária e Uso do Solo, foram consideradas em valores inteiros, para cada classificação. Isto é:

- Pavimento: 0 para pavimento do tipo asfalto e 1 para pavimentos do tipo concreto ou piso intertravado (dummy);
- Vegetação: Variando de 0 até 10, em função do montante de árvores no entorno do ponto, mensuradas através de áreas aproximadas com auxílio do software Google Earth;
- Hierarquia Viária: Variando de 1,5 até 3,0 sendo o primeiro para vias locais, 1,75 para vias coletoras, 2,0 para vias arteriais e 3,0 para vias especiais (tráfego exclusivo de ônibus) ou expressas (de ligação, rodovia, etc). Salienta-se que foram testadas algumas configurações destes valores, tendo sido esta a melhor encontrada;
- Uso do Solo: Variando de 0 até 3, sendo o primeiro para áreas estritamente residenciais, 1 para áreas mistas, 2 para áreas exclusivamente comerciais e 3 para áreas de entorno de eixos rodoviários ou especiais como industriais, por exemplo. Destaca-se que estes valores são referentes aos usos reais identificados nos locais, que pode não necessariamente ser o uso definido pela Lei de Uso e Ocupação do Solo.

Além das 52 variáveis independentes elencadas anteriormente, foram testadas outras variáveis que poderiam de alguma forma também influenciar o ruído. No entanto, ao longo das interações iniciais verificou-se que as mesmas apresentavam pouca ou nenhuma contribuição no processo de calibração. Estas variáveis são listadas a seguir:

1. é a presença (ou não) de estacionamento lindeiro na via;
2. é a largura do canteiro central da via;
3. é a distância ao semáforo mais próximo;
4. é o número de faixas no lado da via oposto à instalação do medidor;
5. é o número de faixas no lado da via adjacente à instalação do medidor;
6. é o logaritmo neperiano da variável número 20;
7. é o logaritmo neperiano da variável número 21;
8. é a relação entre o tempo que houve formação de fila e o tempo total do intervalo de medição para o lado da via oposto ao medidor;
9. é a relação entre o tempo que houve formação de fila e o tempo total do intervalo de medição para o lado da via adjacente ao medidor;
10. é a raiz quadrada do tempo total em que houve formação de fila no lado da via oposto à instalação do medidor;
11. é a raiz quadrada do tempo total em que houve formação de fila no lado da via adjacente à instalação do medidor.

Salienta-se que a não adequabilidade das variáveis listadas anteriormente não significa que não existam relações diretas com os níveis de ruído e sim que, ou a amostra foi insuficiente para torná-las expressivas, ou as mesma já foram, de certa forma, consideradas em outras variáveis (como exemplo, o número de faixas foi de certa forma representada pela variável largura da via).

Em continuidade à apresentação dos dados inseridos no software SPSS apresenta-se na Figura 7-2 uma ilustração das mesmas, onde cada linha apresenta um intervalo de 15 minutos mensurado.

	Local	Horário	LAeq	LnAutoOP	LnBusOP	LnCaminhao OP	LnMotoOP	LnAutoAD	LnBusAD	LnCaminhao AD	LnMotoAD	LnAutoTotal	LnBusTotal	LnCaminhaoTotal	LnMotoTotal	GSFilaOP	GSFilaAD
1																	
2																	
3	Av. São	07:15:07	72,60	4,9698	1,6094	1,6094	3,5264	5,3181	1,0986	1,9459	3,6636	5,8522	2,0794	2,4849	4,2906	30,7748	63,0748
4		07:30:07	73,20	5,1417	0,0000	1,0986	2,9957	5,3083	2,0794	1,0986	4,1897	5,9216	2,0794	1,7918	4,4543	32,6126	64,5442
5		07:45:08	72,50	5,0626	1,0986	0,6931	3,9120	5,2417	0,0000	1,3863	2,7081	5,8493	1,0986	1,7918	4,1744	32,0721	54,4218
6		08:00:08	76,10	4,8442	0,6931	1,0986	3,2958	5,4553	1,9459	1,7918	3,9318	5,8889	2,1972	2,1972	4,3667	26,0160	73,5236
7		08:15:08	74,20	4,8903	2,1972	1,6094	3,2591	5,5053	1,7918	2,4849	3,9120	5,9375	2,7081	2,8332	4,3307	30,1261	79,7279
8		08:30:00	72,70	4,9698	1,0986	0,0000	3,0445	5,4337	0,6931	1,3863	3,6376	5,9216	1,6094	1,6094	4,0775	20,1441	67,6463
9		08:45:09	72,70	4,9273	1,6094	1,9459	3,0445	5,2470	0,0000	2,1972	3,4965	5,7930	1,7918	2,7726	3,9890	29,9459	58,9388
10		09:00:09	72,80	4,9053	1,6094	2,0794	3,2581	5,2632	1,6094	2,3979	3,4340	5,8051	2,3026	2,9444	4,0431	30,1261	64,5442
11		09:15:09	73,60	5,1180	1,6094	1,6094	3,3673	5,3706	1,6094	2,5649	3,7377	5,9454	2,3026	2,8904	4,2627	34,7307	70,5650
12		10:30:10	71,20	4,8675	1,9459	2,6391	3,3673	5,0626	0,0000	2,3026	3,1781	5,6630	2,0794	3,1781	3,9703	32,0360	50,2857
13		10:45:11	71,20	4,9628	1,0986	2,4849	3,3322	5,1059	1,6094	2,5649	3,4657	5,7301	2,0794	3,2189	4,0843	32,1802	56,4364
14		11:00:11	70,80	4,9836	1,0986	2,6391	2,8444	4,8978	1,0986	2,3026	2,8904	5,6349	1,7918	3,1781	3,6109	33,1171	44,5170
15		11:15:11	70,50	5,0434	1,3863	2,5649	2,9957	5,1930	0,6931	2,3979	3,1355	5,8141	1,7918	3,1781	3,7612	34,7748	57,3061
16		11:30:11	69,70	5,0499	1,6094	2,1972	3,0910	4,8752	1,3863	2,0794	3,1781	5,8595	2,1972	2,8332	3,8286	33,9459	43,4830
17		11:45:12	70,80	5,1240	1,6094	2,3979	3,4340	5,0239	1,0986	2,3026	3,2581	5,7883	2,0794	3,0445	4,0431	37,1532	49,8613
18		16:00:16	69,10	5,0999	1,3863	1,9459	3,5264	5,1299	1,6094	2,0794	3,4012	5,8001	2,1972	2,7081	4,1939	34,7307	54,6939
19		16:15:16	71,80	5,2083	1,0986	2,0794	3,0445	4,9558	1,0986	1,7918	2,4849	5,8348	1,7918	2,6391	3,4865	40,7588	44,1905
20		16:30:16	72,60	5,0814	1,3863	2,0794	3,1355	5,1059	1,7918	1,7918	2,8332	5,7869	2,3026	2,6391	3,6889	37,4965	55,9592
21		16:45:17	70,60	5,0752	1,0986	1,9459	3,5264	5,2311	1,6094	2,0794	3,0910	5,8493	2,0794	2,7081	4,0254	33,6577	66,3673
22		17:00:17	70,20	5,3327	1,3863	2,6391	3,4340	5,1533	1,3863	1,9459	3,0910	5,9402	2,0794	3,0445	3,9703	44,9009	54,5306
23		17:15:17	70,20	5,3936	1,6094	2,1972	3,5835	5,1180	1,7918	1,9459	3,1355	5,9584	2,3979	2,7726	4,0775	46,3423	53,7687
24		17:30:17	70,40	5,4530	1,7018	1,0459	2,2622	5,3676	1,6094	2,3026	2,3026	6,5003	1,3863	2,8332	4,0254	63,3061	61,9376

Figura 7-2 – Ilustração dos dados inseridos no software SPSS

De posse dos dados inseridos no software, e aptos a serem trabalhados, iniciou-se o processo de calibração sem qualquer tratamento dos dados (isto é, usou-se todos os dados disponíveis de forma bruta). O primeiro passo foi a utilização da ferramenta StepWise que faz uma avaliação de todas as variáveis independentes consideradas e elimina as que são, a priori, desnecessárias ou que pouco somam à precisão a ser obtida pelo modelo.

Esta primeira interação não apresentou bons resultados, uma vez que praticamente todas variáveis dependentes foram eliminadas, restando apenas a largura da via, o logaritmo neperiano do fluxo de motos no sentido adjacente e o inverso da largura da via. Ou seja, o resultado não se apresentou muito coerente, visto que uma série de outras variáveis mais relevantes foi eliminada (como fluxo, velocidade, etc). Acredita-se que este fenômeno aconteceu devido ao caráter bruto das variáveis inseridas, ou seja, sem tratamento algum.

Em seguida, iniciou-se um processo de interações com a função de regressão linear do software com diversas combinações de variáveis, a saber:

1. Apenas com as variáveis dependentes de volume veicular;
2. Adicionando dados de velocidade, pavimento e vegetação;
3. Sem a variável vegetação;
4. Considerando o inverso da largura da via;
5. Adicionando Ln do GS;
6. Substituindo velocidade por Ln de Velocidade;

7. Reinserindo vegetação;
8. Adicionando distância do medidor ao centro da via;
9. Adicionando variável de tempo de fila;
10. Testando a relação entre tempo de fila e tempo total;
11. Utilizando GS ao invés de Ln de GS;
12. Retirando a variável de distância do medidor ao centro da via
13. Retirando a variável largura da via;
14. Considerando raiz de tempo de fila;
15. Considerando tempo de fila/100 ;
16. Retirando o GS e considerando fila;
17. Substituindo os volumes separados por tipo de veículo por Ln de fluxo total por sentido e percentual de pesados e moto.

A opção em realizar este procedimento (bem como testar estas variáveis em específico) foi fundamentada a partir das conclusões obtidas a partir da revisão bibliográfica, no que diz respeito aos principais tipos de variáveis que compõem os diversos modelos estatísticos presentes na literatura específica.

Para todas estas interações os resultados obtidos foram insatisfatórios, seja por um baixo R^2 , seja por incoerência nos sinais das variáveis independentes ou ainda por não obter resultados satisfatórios para os outros testes estatísticos.

Neste momento decidiu-se então avaliar o comportamento das regressões sem os dados do Expresso Tiradentes e Transmilenio em Bogotá pelo fato destes, mesmo apresentando um baixo fluxo de veículos, apresentarem níveis de ruído pouco abaixo de locais com elevado fluxo de veículos (ruído de fundo significativo devido à atividade urbana lindeira). No entanto, os resultados também foram insatisfatórios.

Em seguida a atenção foi voltada para os intervalos de medição que possuíam algum comentário durante as medições, para ver se algum poderia comprometer a precisão dos dados. Isto é, conforme já explanado, foram identificados todos os fenômenos ruidosos da atividade urbana durante as medições que fariam pouco sentido de serem considerados como variáveis independentes de um modelo de predição.

Dessa forma foram retirados da amostra todos os dados que possuíam comentários de chuva, barulho de água no asfalto, início atrasado, erro de pesquisador na mensuração de algum dado, alarme de carro disparado durante tempo significativo próximo do medidor, pessoas gritando próximo ao medidor etc.

Feito esta expurgação de cerca de 65 dados, correspondente a 17,5% do total, os valores dos testes estatísticos começaram a apresentar resultados melhores. Salienta-se que vários dados deveriam mesmo ser retirados como, por exemplo, um intervalo significativo onde o pesquisador de velocidade confessou ter parado de medir porque o tráfego estava praticamente parado. Ou seja, tivemos períodos com baixa velocidade em campo, mas nos dados digitados não se tinha esta confirmação. Além disso, alguns intervalos tiveram comentários que indicavam haver um ruído maior naquele intervalo, mas sem uma variável independente lógica (e de tráfego) capaz de representar tal situação como, por exemplo, barulho de água caindo no bueiro próximo ao local de instalação do aparelho.

Iniciou-se novamente a realização de diversas interações com todas variáveis possíveis, sendo que três modelos apresentaram inicialmente melhores resultados, conforme apresentado a seguir. Na Tabela 7-1 verifica-se que o modelo 1 em questão apresentou um R^2 bastante satisfatório, bem como um baixo erro padrão de estimativa.

Tabela 7-1 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 1

Modelo	R	R2	R2 Ajustado	Erro padrão de estimativa
1	,909 ^a	0,826	0,818	1,36516

Já na Tabela 7-2 são apresentados os resultados para cada uma das variáveis independentes consideradas, tais como coeficientes, erro padrão, significância, valores - para o teste t-student etc. verifica-se que algumas variáveis apresentam baixos valores e, portanto, insatisfatórios para o teste t (menor que 2). Dessa forma, este modelo ainda precisa ser analisado de forma mais detalhada para tentar corrigir as potenciais perdas de precisão identificadas.

Tabela 7-2 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 1

Modelo	B	Erro padrão	Beta	t	Sig.
(Constant)	56,196	,524		107,198	,000
LnAutoOP	,824	,234	,413	3,520	,001
LnBUSOP	,967	,139	,320	6,962	,000
LnMotoOP	,204	,184	,084	1,109	,268
LnAutoAD	1,014	,234	,498	4,330	,000
LnBusAD	,669	,126	,225	5,299	,000
LnMotoAD	,317	,186	,128	1,707	,089
Pavimento	12,789	,544	1,174	23,508	,000
VelMedOP	,058	,012	,258	4,712	,000
VelMedAD	,064	,012	,277	5,184	,000
LnCamTotal	,109	,139	,039	,783	,434
FilaOPs100	,111	,075	,045	1,483	,139
FilaADs100	,107	,081	,041	1,327	,186
DistMedCentroVia	-.422	,029	-.722	-14,482	,000

Na Tabela 7-3 é apresentado o resumo dos resultados para o Modelo 2, que considerou outra configuração de variáveis independentes. Assim como para o modelo 1, os valores obtidos para este também foram satisfatórios, porém indicando uma precisão ligeiramente menor do que os obtidos para o modelo 1.

Tabela 7-3 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 2

Modelo	R	R2	R2 Ajustado	Erro padrão de estimativa
1	,912 ^a	0,831	0,823	1,34665

No entanto, analisando a saída do software para as variáveis independentes consideradas, verificou-se o mesmo problema apresentado pelo modelo 1, isto, é, algumas variáveis possuem baixos valores para o teste t-student, conforme pode ser visualizado na Tabela 7-4.

Tabela 7-4 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 2

Modelo	B	Erro padrão	Beta	t	Sig.
(Constant)	58,028	,781		74,284	,000
LnAutoOP	1,166	,264	,627	4,411	,000
LnBUSOP	,787	,164	,280	4,795	,000
LnMotoOP	,129	,177	,057	,728	,467
LnAutoAD	1,287	,246	,680	5,242	,000
LnBusAD	,324	,166	,117	1,950	,052
LnMotoAD	,443	,188	,192	2,360	,019
Pavimento	12,127	,534	1,197	22,692	,000
VelMedOP	,038	,012	,181	3,141	,002
VelMedAD	,063	,012	,296	5,090	,000
FilaOPs100	,040	,072	,017	,554	,580
FilaADs100	,072	,082	,030	,883	,378
DistMedCentroVia	-,407	,028	-,748	-14,695	,000
LnPercentPesado	1,112	,378	,297	2,942	,004

Assim, procedeu-se a continuidade de análises das variáveis independentes, buscando sempre evitar a inserção de variáveis que poderiam ter uma alta correlação entre si como, por exemplo, considerar largura da via e distância do medidor até o centro da via. A Tabela 7-5 apresenta o resumo dos dados obtidos para o terceiro modelo que apresentou, de forma geral, bons resultados. Os valores são satisfatórios, com uma ligeira perda de precisão com relação ao modelo 2 (R^2 um pouco menor).

Tabela 7-5 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 3

Modelo	R	R2	R2 Ajustado	Erro padrão de estimativa
1	,909 ^a	0,826	0,818	1,36516

De maneira similar às avaliações anteriores, analisando a Tabela 7-6, verifica-se também para este modelo o mesmo problema de precisão com relação ao teste t-student (menor que 2) para algumas variáveis.

Tabela 7-6 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 3

Modelo	B	Erro padrão	Beta	t	Sig.
(Constant)	56,389	,533		105,835	,000
LnAutoOP	,796	,240	,428	3,321	,001
LnBUSOP	1,063	,139	,378	7,665	,000
LnMotoOP	,143	,187	,063	,763	,446
LnAutoAD	1,086	,238	,574	4,557	,000
LnBusAD	,653	,129	,236	5,062	,000
LnMotoAD	,300	,190	,130	1,580	,115
Pavimento	12,332	,540	1,217	22,821	,000
DistMedCentroVia	-,409	,030	-,753	-13,815	,000
FilaOPs100	,049	,074	,021	,656	,512
FilaADs100	,120	,082	,050	1,457	,146
VelMedOP	,045	,012	,216	3,774	,000
VelMedAD	,069	,012	,322	5,522	,000
LnCamTotal	,113	,142	,044	,799	,425

Neste ponto, após a avaliação geral dos modelos que apresentaram melhores resultados, verificou-se que ainda existe a necessidade de se estudar as variáveis independentes consideradas em função do fato de que algumas das mesmas estão apresentando valores insatisfatórios no que diz respeito aos testes estatísticos.

Realizou-se então um teste de tendência de curva para algumas das variáveis testadas para verificar se estas estão sendo analisadas com base em seus comportamentos de forma adequada. A título de ilustração, é mostrada a seguir a avaliação da relação entre ruído e velocidade média. Conforme pode ser visto na Tabela 7-7, apesar de a correlação encontrada apresentar baixos valores para o R^2 a curva cúbica foi a que apresentou o melhor resultado.

Tabela 7-7 – Resultado do teste de tendência: relação entre ruído e velocidade média

Equação	Modelo Sumário					Parâmetros Estimados			
	R2	Teste F	df1	df2	Sig.	Constante	b1	b2	b3
Linear	,119	40,636	1	301	,000	69,612	,078		
Logarítmica	,085	28,053	1	301	,000	66,660	1,703		
Inversa	,060	19,245	1	301	,000	73,576	-23,089		
Quadrática	,159	28,291	2	300	,000	71,743	-,064	,002	
Cúbica	,246	32,516	3	299	,000	67,395	,502	-,015	,000
Composta	,111	37,769	1	301	,000	69,702	1,001		
Potência	,082	26,853	1	301	,000	66,943	,023		
Est. Logística	,059	18,735	1	301	,000	4,297	-,314		
Crescimento	,111	37,769	1	301	,000	4,244	,001		
Exponencial	,111	37,769	1	301	,000	69,702	,001		
Logística	,111	37,769	1	301	,000	,014	,999		

No entanto, ao voltar para a calibração do modelo com a inserção da variável velocidade média ao cubo, alguns sinais apresentaram-se de forma incoerente, além de permanecer o problema com o teste t student para algumas outras variáveis, conforme pode ser visto na Tabela 7-8, de forma que apenas o logaritmo neperiano da velocidade média foi o parâmetro que apresentou melhor resultados quando analisadas todas variáveis conjuntamente:

Tabela 7-8 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 4

Modelo	B	Erro padrão	Beta	t	Sig.
(Constant)	59,561	,567		105,025	,000
LnAutoOP	,712	,267	,383	2,662	,008
LnBUSOP	1,068	,150	,380	7,129	,000
LnMotoOP	,146	,205	,064	,714	,476
LnAutoAD	,789	,282	,417	2,804	,005
LnBusAD	,702	,139	,254	5,044	,000
LnMotoAD	,535	,211	,232	2,534	,012
Pavimento	8,547	,665	,844	12,856	,000
DistMedCentroVia	-,391	,033	-,720	-11,741	,000
LnCamTotal	,164	,155	,063	1,058	,291
ExpGSOPs100	-,380	,221	-,064	-1,721	,086
ExpGSADs100	-,159	,096	-,057	-1,651	,100
VelCubOP	,084	,124	,036	,680	,497
VelCubAD	,743	,127	,384	5,854	,000

Continuando as interações para tentar resolver os problemas elencados, eliminou-se dos modelos número 1, 2 e 3 a variável fila, visto que esta apresentou baixa precisão de acordo com o teste t student. Além disso, trocou-se a variável Ln de fluxo de Caminhões por Ln de Veículos pesados (ônibus + caminhões). A realização destes procedimentos permitiu a obtenção de um modelo com todos os sinais coerentes, bem como valores satisfatórios para o teste t student conforme pode ser visto nas tabelas a seguir:

Tabela 7-9 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 5

Modelo	R	R2	R2 Ajustado	Erro padrão de estimativa
1	,908 ^a	0,825	0,819	1,36188

Tabela 7-10 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 5

Modelo	B	Erro padrão	Beta	t	Sig.
(Constant)	51,064	1,288		39,649	,000
LnAutoOP	1,057	,223	,569	4,737	,000
LnBUSOP	,863	,170	,307	5,081	,000
LnAutoAD	1,307	,222	,691	5,891	,000
LnBusAD	,432	,164	,156	2,629	,009
Pavimento	13,915	,586	1,373	23,754	,000
DistMedCentroVia	-,391	,026	-,720	-14,787	,000
LnVelocidOP	1,543	,275	,336	5,611	,000
LNVelocidAD	1,368	,266	,227	5,141	,000
LnMotoTotal	,432	,215	,199	2,007	,046
LnPercentPesado	,951	,380	,253	2,499	,013

Posteriormente, testou-se ainda a consideração da variável relativa à hierarquização viária. Isto porque, foi verificado em campo que a atividade urbana é naturalmente ruidosa dependendo do tipo de empreendimento presente na via, conforme já mencionado. O resultado foi o modelo apresentado nas Tabelas a seguir:

Tabela 7-11 – Saída resumo do software SPSS para o Modelo 6

Modelo	R	R2	R2 Ajustado	Erro padrão de estimativa
1	,908 ^a	0,825	0,819	1,36188

Tabela 7-12 – Resultado para as variáveis consideradas para o Modelo 6

Modelo	B	Erro padrão	Beta	t	Sig.
(Constant)	23,234	2,269		10,237	,000
LnAutoOP	1,057	,223	,569	4,737	,000
LnBUSOP	,863	,170	,307	5,081	,000
LnAutoAD	1,307	,222	,691	5,891	,000
LnBusAD	,432	,164	,156	2,629	,009
DistMedCentroVia	-,391	,026	-,720	-14,787	,000
LnVelocidOP	1,543	,275	,336	5,611	,000
LNVelocidAD	1,368	,266	,227	5,141	,000
LnMotoTotal	,432	,215	,199	2,007	,046
LnPercentPesado	,951	,380	,253	2,499	,013
HierarquiaViaria	13,915	,586	1,373	23,754	,000

A inserção desta variável contribuiu para melhoria do modelo. O valor de sua constante foi alto, o que mostra que, realmente, existem fenômenos ruidosos significativos que não tem como ser explicados apenas com as variáveis de ruído de tráfego (atividade urbana).

Analisando a tabela anterior pode ser verificado, similarmente ao modelo número 5, que todos os parâmetros de teste apresentam valores satisfatórios, bem como os sinais das variáveis e demais parâmetros de avaliação. Salienta-se que a análise estatística realizada pelo software retirou automaticamente a variável pavimento. Outro ponto que merece destaque é o fato da constante da equação apresentar um valor significativamente menor que para os outros modelos em questão avaliados.

7.2 Demais Considerações sobre o Procedimento de Calibração do Modelo

Mesmo após obter estes dois modelos com valores bastante satisfatórios ainda testou-se a consideração de uma variável relativa a uso do solo, no entanto sem sucesso. Salienta-se ainda que, as interações apresentadas no item anterior foram referentes a somente aquelas que apresentaram certa coerência. No entanto, para chegar até as mesmas foram realizadas mais de 100 interações diferentes sempre balizadas pela experiência obtida com a revisão bibliográfica, bem como do próprio autor fundamentada na pesquisa realizada no mestrado, onde também foi necessário calibrar um modelo por interações estatísticas de regressão linear múltipla. Também se utilizou por diversas vezes o procedimento *stepwise*, no entanto, sem sucesso.

7.3 Detalhamento do Modelo Mais Preciso Obtido

Diante do resumo dos procedimentos realizados apresentados, no item 7.1, os modelos de número 5 e 6 apresentaram-se satisfatórios e com o mesmo grau de precisão, podendo então, a priori, serem utilizados para predição de ruído em centros urbanos. No entanto, para dar continuidade à proposta desta tese optou-se pelo modelo de número 6 devido ao menor valor de sua constante. Logo, a equação a seguir apresenta o modelo em questão e as tabelas a seguir apresentam os resultados obtidos para o mesmo.

$$Leq = 23,234 + 1,307.Ln(A_{ad}) + 0,432.Ln(O_{ad}) + 1,368.Ln(Vm_{ad}) + 1,057.Ln(A_{op}) + 0,863.Ln(O_{op}) + 1,543.Ln(Vm_{op}) + 0,432.Ln(M_{ad} + M_{op}) + 0,951.Ln(\%P) + 13,915.(H) - 0,391.(D) \quad 7.1$$

Onde:

- Leq é o nível sonoro equivalente (15 minutos);
- $Ln(A_{ad})$ é logaritmo neperiano do fluxo de automóveis no sentido adjacente ao receptor (15 minutos);
- $Ln(O_{ad})$ é logaritmo neperiano do fluxo de ônibus no sentido adjacente ao receptor (15 minutos);
- $Ln(Vm_{ad})$ é logaritmo neperiano da velocidade média do fluxo no sentido adjacente ao receptor (15 minutos);
- $Ln(A_{op})$ é logaritmo neperiano do fluxo de automóveis no sentido oposto ao receptor (15 minutos);
- $Ln(O_{op})$ é logaritmo neperiano do fluxo de ônibus no sentido oposto ao receptor (15 minutos);
- $Ln(Vm_{op})$ é logaritmo neperiano da velocidade média do fluxo no sentido oposto ao receptor (15 minutos);
- $Ln(M_{ad} + M_{op})$ é logaritmo neperiano do fluxo de moto nos dois sentidos (15 minutos);
- $Ln(\%P)$ é logaritmo neperiano do percentual de veículos pesados (15 minutos);
- H é hierarquia viária;
- D é a distância em metros entre a fonte e o receptor (centro da via).

Na Tabela 7-13 pode ser verificado que o coeficiente de determinação estatística obtido para o modelo calibrado é significativo (maior que 0,8) e o mesmo apresentou um alto valor para o teste F (maior do que 100).

Tabela 7-13 – Resultados resumo para o Modelo 6

Modelo	R	R2	R2 ajustado	Erro Padrão de Estimativa	Teste F	df1	df2	Sig.
1	0,908	0,825	0,819	1,36188	137,899	10	292	0

Já a Tabela 7-14 apresenta os resultados do processo de calibração do modelo, sendo que os principais a destacar são:

- B: são as constantes para cada uma das variáveis;
- T é o valor para o teste t student para cada uma das variáveis.

Tabela 7-14 – Resumo de dados estatísticos para o modelo calibrado

Modelo	B	Erro padrão	Beta	t	Sig.
(Constant)	23,234	2,269		10,237	,000
LnAutoOP	1,057	,223	,569	4,737	,000
LnBUSOP	,863	,170	,307	5,081	,000
LnAutoAD	1,307	,222	,691	5,891	,000
LnBusAD	,432	,164	,156	2,629	,009
LnMotoTotal	,432	,215	,199	2,007	,046
DistMedCentroVia	-,391	,026	-,720	-14,787	,000
LnVelocidOP	1,543	,275	,336	5,611	,000
LNVelocidAD	1,368	,266	,227	5,141	,000
LnPercentPesado	,951	,380	,253	2,499	,013
HierarquiaViaria	13,915	,586	1,373	23,754	,000

Da avaliação da Tabela 7-15 chama-se a atenção para o valor médio obtido para o nível sonoro equivalente (Leq), igual a 72,8 dB, visto que é um valor significativo e maior do que o que é recomendado pela NBR 10151 (ABNT, 2000) para qualquer área ou uso do solo em um centro urbano.

Tabela 7-15 – Resultados de estatística descritiva para o Modelo 6

Parâmetro	Média	Des. Padrão	N
Leq	72,7863	3,20348	303
LnAutoOP	4,901472	1,7235734	303
LnBUSOP	3,010922	1,1403711	303
LnAutoAD	5,009294	1,6926792	303
LnBusAD	3,100417	1,1588253	303
LnMotoTotal	4,186611	1,4716676	303
DistMedCentroVia	14,7744	5,89576	303
LnVelocidOP	3,547412	,6985234	303
LNVelocidAD	3,603348	,5315246	303
LnPercentPesado	-2,040824	,8542349	303
HierarquiaViaria	2,11	,316	303

A Figura 7-3 apresenta a freqüência de ocorrência para as estimativas feitas pelo modelo em termos de variação em decibéis a partir do valor real (mensurado). Isto é, pode-se verificar que a maior freqüência de ocorrência para as estimativas feitas pelo modelo tem erro próximo de zero decibel (duas barras principais ao centro). Também é possível ver que poucos pontos de estimativa tiveram erros de 3dB.

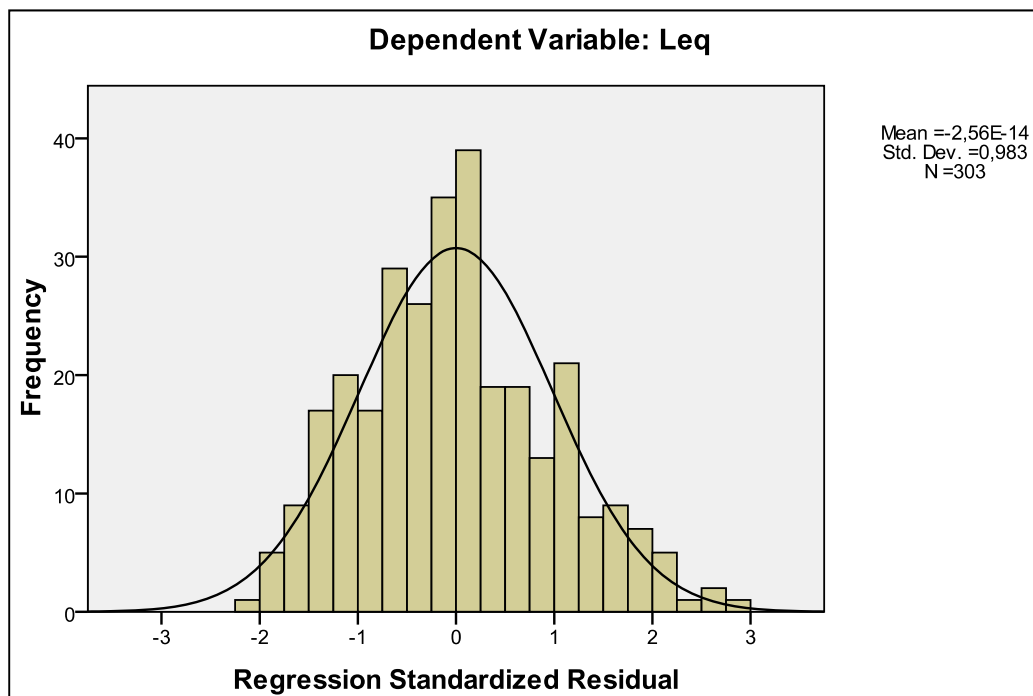


Figura 7-3 – Curva de precisão do modelo calibrado (freqüência de ocorrência)

7.4 Transformação do Modelo

Conforme anteriormente explicado, foi realizada uma alteração no modelo calibrado, para que o mesmo utilizasse variáveis específicas ligadas à divisão modal e deslocamento de pessoas, se tornando uma ferramenta mais direta para planejadores de transporte urbano.

As variáveis a serem substituídas são, especificamente, referentes a fluxo de veículos, motos e veículos pesados. Isto é, o fluxo de determinado tipo de veículo será dado pela Equação a seguir:

$$\phi_n = V_n \cdot \frac{\%U_n}{OC_n} \quad 7.2$$

Onde:

- V é o número de viagens entre um par de origem e destino (viagens/15 minutos);

- %U é a Divisão modal presente (%);
- OC é a ocupação média veicular (passageiros/veículo).

Aplicando-se este raciocínio para cada tipo de veículo nas variáveis consideradas no modelo, para cada sentido, chegou-se ao modelo apresentado nas equações a seguir:

$$\begin{aligned} \text{Leq} = & 23,234 + 1,307.Ln(\phi_{ad}) + 0,432.Ln(\varphi_{ad}) + 1,368.Ln(Vm_{ad}) + 1,057.Ln(\phi_{op}) + \\ & 0,863.Ln(\varphi_{op}) + 1,543.Ln(Vm_{op}) + 0,432.Ln(\beta) + 0,951.Ln(\lambda) + 13,915.(H) \\ & - 0,391.(D) \end{aligned} \quad 7.3$$

$$\varphi_n = V_n \cdot \frac{\%UO}{OC_{bus}} \quad 7.4$$

$$\beta = V_{ad} \cdot \frac{\%UM}{OC_{moto}} + V_{op} \cdot \frac{\%UM}{OC_{moto}} \quad 7.5$$

$$\phi_n = V_n \cdot \frac{\%UA}{OC_{auto}} \quad 7.6$$

$$\lambda = \frac{\left(V_{op} \cdot \frac{\%UO}{OC_{bus}} \right) + C_{op} + C_{ad} + \left(V_{ad} \cdot \frac{\%UO}{OC_{bus}} \right)}{\left(V_{ad} \cdot \frac{\%UA}{OC_{auto}} \right) + \left(V_{ad} \cdot \frac{\%UO}{OC_{bus}} \right) + \left(V_{ad} \cdot \frac{\%UM}{OC_{moto}} \right) + C_{ad} + \left(V_{op} \cdot \frac{\%UA}{OC_{auto}} \right) + \left(V_{op} \cdot \frac{\%UO}{OC_{bus}} \right) + \left(V_{op} \cdot \frac{\%UM}{OC_{moto}} \right) + C_{op}} \quad 7.7$$

Onde:

- ad é adjacente;
- op é oposto;
- Vm é velocidade média do fluxo (15 minutos);
- H é hierarquia da via;
- D é a distância do medido até o centro da via (metros);
- %UA é percentual de viagens utilizando o modo automóvel;
- %UO é o percentual de viagens utilizando o modo ônibus;
- %UM é o percentual de viagens utilizando o modo motocicleta;
- C é o fluxo de caminhões (15 minutos);
- V_n número de viagens no sentido n (15 minutos);
- OC_n é ocupação média do modo n (passageiros/veículo).

Uma vez ajustado o modelo, programou-se uma planilha eletrônica para que a mesma funcionasse como um software simplificado, conforme ilustrado na Figura 7-4.

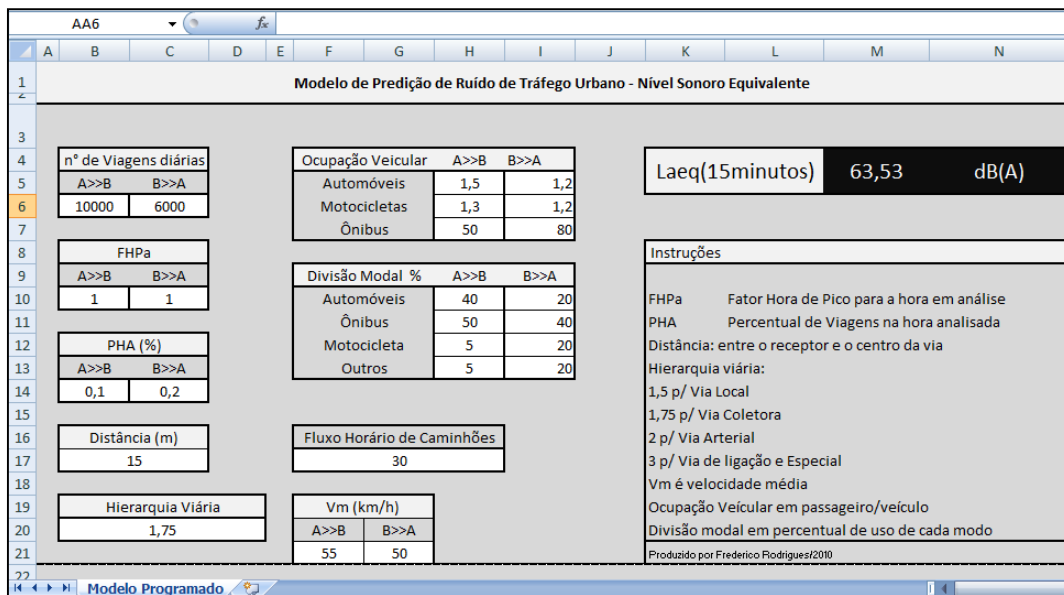


Figura 7-4 – Ilustração da planilha de Excel programada com o modelo calibrado

Na figura anterior é possível verificar do lado esquerdo, duas colunas de entrada de dados, do lado direito o resultado calculado, e logo abaixo as instruções para utilização da planilha. De forma geral, pode-se inferir que os dados de entrada do modelo são de fácil obtenção, o que o torna sua utilização mais abrangente. No capítulo a seguir serão feitas as aplicações do modelo em questão.

7.5 Considerações Finais Sobre o Modelo

Pode-se inferir que a base de dados coletada permitiu, através de diversas análises estatísticas, validar um modelo com precisão significativa, se tornando apto a ser uma ferramenta a mais para contribuir nos processos de avaliação e estimativa de ruído de tráfego.

O modelo foi apresentado de duas formas, (I) para utilização de dados de entrada clássicos neste tipo de modelo e (II) para utilização com dados específicos de planejamento de transportes, se tornando uma ferramenta mais direta para este tipo de aplicação. Independente das duas formas de entrada de dados, as variáveis independentes explicativas utilizadas são de fácil obtenção, o que colabora para que o modelo seja ainda mais aplicável e utilizável.

O modelo traz a inovação de considerar a variável de veículos pesados separadamente entre ônibus e caminhão, além de inserir a variável de hierarquia viária.

Estes dois pontos não foram identificados na bibliografia nos outros modelos existentes e pode ser considerado como uma contribuição adicional desta tese.

Por outro lado, alguns pontos merecem ainda ser comentados. Conforme visto no capítulo 5, o grau de saturação de uma via possui relação com os níveis de ruído em uma relação parabólica negativa. Isto é, o Ruído cresce junto com o GS até um certo ponto, sendo que depois deste patamar o ruído decresce com o aumento do GS devido à diminuição da velocidade média do fluxo, mesmo havendo um número significativo de veículos em circulação.

No entanto, apesar desta relação ter se mostrado válida, o modelo calibrado não teve o grau de saturação como variável independente. Foram feitos diversos testes, em diversas configurações de variáveis independentes e em algumas inclusive se obteve resultados satisfatórios. Não obstante, nos modelos mais precisos obtidos, a inserção deste parâmetro fazia com que algumas variáveis obtivessem sinais incoerentes, por isto, descartou-se o GS como variável explicativa do modelo.

De qualquer forma, a influência deste no ruído poderá ser percebida pelo modelo através da variação da velocidade média do fluxo, a qual tem relação direta com o grau de saturação conforme mostrado no capítulo 5.

Além do grau de saturação, outras variáveis também foram descartadas, o que não significa que as mesmas não possuam relação com os níveis de ruído como, por exemplo, a formação de filas. No entanto, essas variáveis são relacionadas entre si de forma que sua consideração conjunta ocasionaria o caso de variáveis independentes com alta correlação entre si, como seria o caso de velocidade, grau de saturação e fila, por exemplo.

8 Aplicação do Modelo Calibrado

8.1 Aplicação Geral do Modelo Desenvolvido

Conforme apresentado no capítulo anterior, o modelo desenvolvido obteve um coeficiente de determinação estatística (R^2) igual a 0,825, valor que corresponde a uma precisão bastante satisfatória para uma variável do tipo aleatória como o ruído. Além disso, o modelo apresentou bons resultados quando realizados os testes de significância estatística.

Quando o mesmo é aplicado para realizar a predição de ruído para os pontos onde foram feitas as medições que compuseram o presente trabalho, os resultados obtidos também são satisfatórios. Isto é, aplicando o modelo com os dados de número de viagens, divisão modal presente, ocupação veicular, velocidade média, distância entre o centro da via e o receptor, obtêm-se valores com um erro médio de 1,06 dB (valor inclusive menor do que a própria precisão do aparelho utilizado). Este valor foi calculado pela seguinte Equação:

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(\text{Leq}_{\text{real}} - \text{Leq}_{\text{predito}})^2}}{n} \quad 8.1$$

Onde:

- E é o erro médio;
- Leq_{real} é o nível sonoro equivalente medido;
- $\text{Leq}_{\text{predito}}$ é o nível sonoro equivalente estimado pelo modelo;
- n é o total de estimativas consideradas.

A Tabela 8-1 apresenta os resultados principais dos erros obtidos com a aplicação do modelo calibrado.

Tabela 8-1 Resumos dos erros obtidos com a aplicação do modelo

Erro dB		
Mínimo	Médio	Máximo
,0032	1,0676	3,6342

Já na Figura 7-3 é possível verificar como foi a aderência da curva de estimativa quando confrontada com os dados reais. É possível ver claramente a tendência de

aumento dos níveis de ruído ao longo do eixo das abscissas 'x', tanto para os valores reais (em vermelho) quanto para os preditos (em azul). A linha mais fina (preto) é a tendência estimada pelo software Excel, a qual mais se aproxima de um comportamento logarítmico.

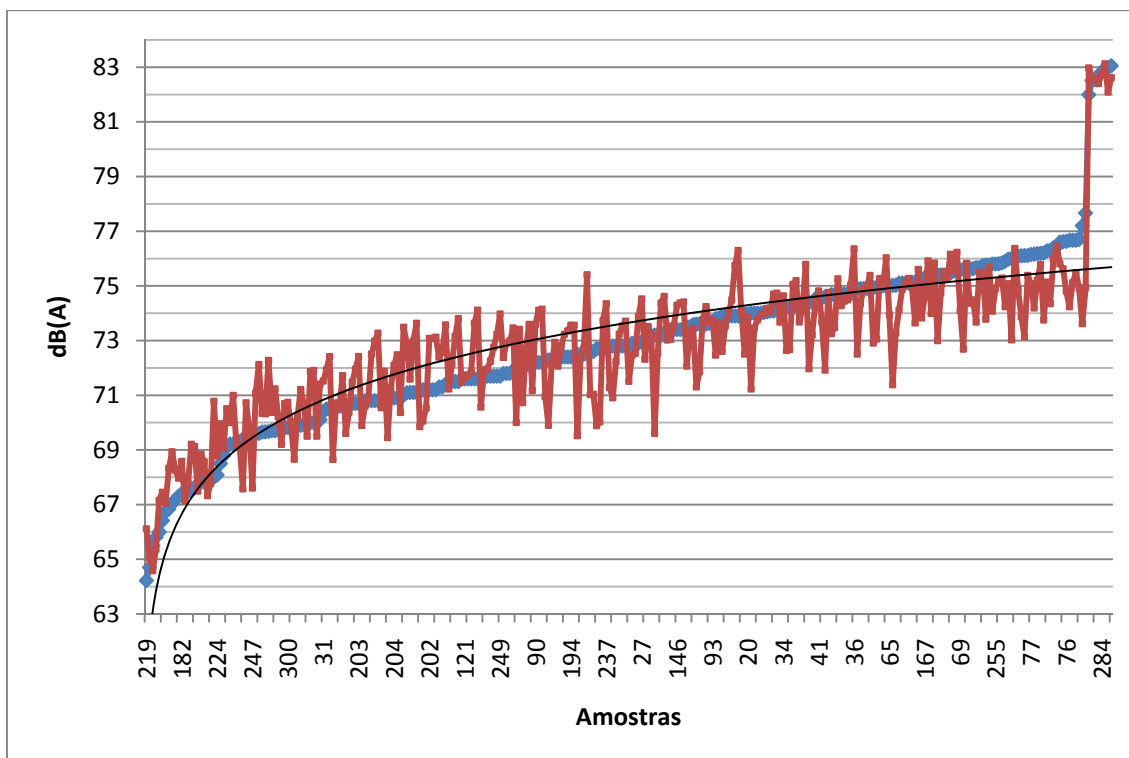


Figura 8-1 – Dados reais, preditos e linha de tendência para a aplicação do modelo calibrado

8.2 Aplicação Simulada: Alteração da Divisão Modal e Ocupação Média do Transporte Coletivo

Nos itens a seguir (incluindo o presente) serão feitas simulações com o modelo para identificação das alterações nos níveis sonoros. Devido ao significativo número de intervalos testados, os resultados serão comparados basicamente em função da média do nível sonoro equivalente (L_{eq}) para todos os intervalos analisados, o que não invalida as análises. Uma avaliação específica por ponto deve ser realizada em casos de aplicações práticas reais do modelo, o que não é necessariamente o objetivo principal deste trabalho.

Conforme apresentado no capítulo 6, o sistema de transporte opera, de forma geral, com capacidade ociosa da ordem de 45%. No entanto, quando se analisa o pico e no sentido de maior demanda, verifica-se que este número cai para em torno de 25% (considerando todos os modos). Quando esta análise é feita somente para o modo

coletivo (ônibus), a ociosidade cai para cerca de 20% no pico da tarde no sentido de maior demanda (centro>>bairro).

Desta forma, o objetivo deste item é simular o que aconteceria com os níveis de ruído caso parte desta ociosidade fosse utilizada devidamente, com a otimização do sistema, sem necessariamente ocasionar perda de conforto para os usuários, isto é, com a manutenção das ocupações médias verificadas para os veículos.

Aplicou-se o modelo para as configurações atuais de ocupação veicular dos modos e para o número de pessoas que realizaram viagem naquele intervalo. Obteve-se também a divisão modal presente. A partir deste ponto, simulou-se a transferência de usuários dos automóveis para os ônibus, de forma que em cada intervalo de 15 minutos somou-se 5% a mais ao percentual de viagens realizadas pelo modo ônibus, com compensação nas viagens realizadas pelo modo automóvel.

Os resultados em termos de redução média do número de veículos em circulação é da ordem de 4%. Faz mister salientar que, devido à não alteração da ocupação média dos ônibus, foi necessário adicionar mais veículos ao sistema.

Desta forma, o nível sonoro equivalente médio para todos os intervalos passou de 72, 84 dB(A) para 72,74 dB(A), o que em termos de pressão quadrática representa uma diminuição de cerca de 2% (cálculos realizados em escala logarítma).

Esta pequena redução se deve, basicamente, a dois fatores. O primeiro já explanado é o incremento do número de ônibus em circulação, o segundo é que, devido à diminuição do fluxo de veículos ocorreu um aumento na velocidade média. Conforme visto em capítulos anteriores, para os dados coletados na presente pesquisa, a variação de velocidade média (km/h) com fluxo veicular por faixa a cada quinze minutos ocorre na proporção de -0,072 (tangente da equação do tipo $y = a.x + b$). Ou seja, para cada 100 veículos a menos no fluxo (por faixa), há um aumento de cerca de 7,2 % na velocidade.

Além disso, vale ainda salientar que o cálculo foi feito para valores médios ao longo de todos os dias. Em horário de pico ou situações de fluxo forçado, o comportamento tenderia a ser diferente, conforme mostrado de forma qualitativa no capítulo 5.

Fazendo a mesma análise deste item (incremento de 5% na utilização dos ônibus) e ainda aumentando a ocupação média dos ônibus em 10%, verifica-se que, neste cenário, não há necessidade de aumentar a frota em circulação. Pelo contrário, ocorre uma diminuição. Desta forma, a variação do ruído médio foi de 6%, passando de

72, 82 dB(A) para 72,58 dB(A), já considerando o incremento de ruído devido ao aumento da velocidade média.

O valor encontrado também é baixo. O fato que explica este resultado é que, apesar da diminuição do fluxo veicular ter sido maior, o aumento de velocidade também o foi, compensando, em partes, a diminuição do número de fontes sonoras (veículos).

Em um último cenário de simulações como as já realizadas considerou-se um aumento de 15% na ocupação média dos ônibus, incremento de 5% na utilização deste modo, e ocupação dos automóveis e moto igual 2 passageiros / veículos. Estas modificações implicam numa redução de cerca de 16% do número de veículos em circulação. Com isto, a diminuição teórica, em termos de pressão sonora, já considerando a alteração da velocidade média, é de cerca de 13%, passando para um Leq médio de 72,26 dB(A).

De forma geral, verifica-se que as diminuições nos níveis de ruído, mesmo com significativas alterações no comportamento das viagens realizadas, são pouco expressivas. O fato ocorre devido, principalmente, à compensação da velocidade média para a diminuição do fluxo em circulação.

8.2.1 Aumento da Ocupação Média Veicular (Automóvel)

Conforme visto no capítulo 4, a ocupação média geral dos automóveis é de 1,44 passageiro / veículo. Simulou-se, o que aconteceria com os níveis de ruído, caso este valor aumentasse para 2 passageiros / veículo, considerando que usuários deixariam de usar seus próprios automóveis através de alguma ação bem sucedida de gerenciamento da mobilidade do tipo *car pooling* ou *car sharing*, etc.

Preliminarmente, infere-se que, apenas com esta alteração haveria uma redução média de 20% do número de veículos em circulação, considerando os dois sentidos de circulação por corredor e a variação da divisão modal ao longo do dia.

Quando se realiza o cálculo do Leq médio para todos os intervalos de medição realizados, verifica-se que há um redução de 0,58 dB(A), passando de 72,82 dB(A) para 72,24 dB(A). Apesar da redução na escala decibel ser pequena, em termos de pressão sonora, a redução é de cerca de 13%.

A Figura 8-2 apresenta o gráfico das variações obtidas com a alteração da ocupação média veicular, onde se verifica que as maiores reduções serão percebidas no início da manhã, visto que os quatro picos de redução muito claramente

perceptíveis na Figura são por volta de 5:30h da manhã. O fato acontece visto que neste horário começa a atividade urbana com incremento de fluxo. Uma vez que o ruído de fundo é baixo, qualquer alteração é facilmente perceptível. Desta forma, a diminuição do número de veículos em circulação causaria efeitos mais perceptíveis nos níveis sonoros. Nestes horários, a redução percentual da pressão quadrática seria da ordem de 23%.

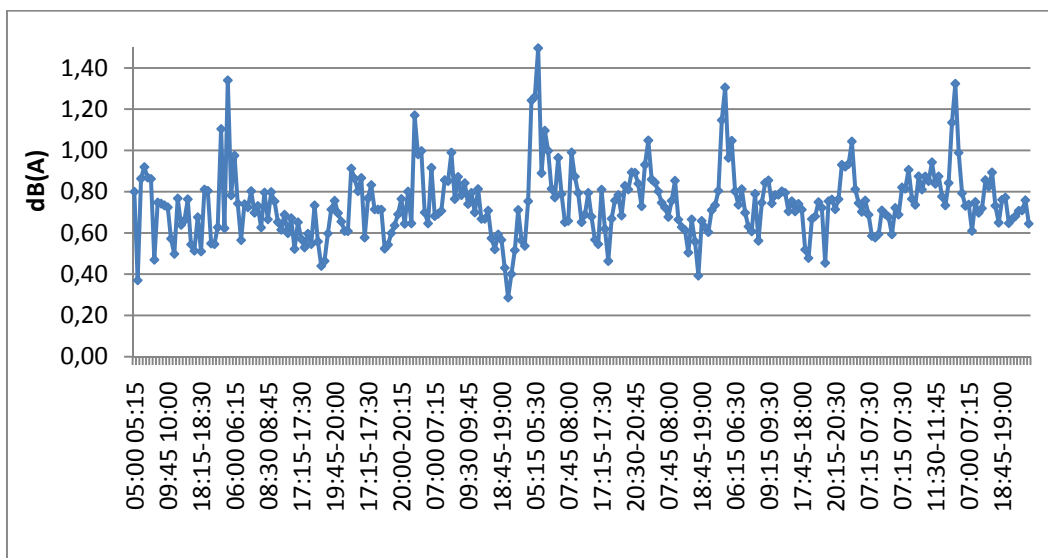


Figura 8-2 – Variação de ruído verificada em função das horas do dia

No entanto, as avaliações realizadas não consideraram o aumento da velocidade média do fluxo em função da diminuição do número de veículos em circulação. Ao se considerar esta correção para o Leq médio, obtém-se 72,45 dB(A), de forma que a redução de nível sonoro proporcionada pelo aumento de ocupação média veicular, em termos de pressão, seria de cerca de 9 %. Ou seja, mesmo havendo uma redução da ordem de 20% do fluxo veicular, a compensação ocorrida devido ao aumento da velocidade praticamente anula a redução obtida pela diminuição de fontes sonoras em circulação (veículos).

8.2.2 Aumento da Ocupação Média Veicular (Ônibus)

Também como verificado no capítulo 4, os picos de ocupação média ocorrem à tarde e com valores da ordem de 55 passageiros / veículo. Considerando que, de forma geral, a capacidade média dos ônibus na cidade de Belo Horizonte é de 80 passageiros, simulou-se um aumento da ocupação média dos ônibus igual a 10%.

Ao se fazer isto, verifica-se uma redução média do número de veículos em circulação de praticamente 1 %. Considerando a baixa redução do número de veículos, aliada à compensação devido ao aumento da velocidade média, a redução de ruído é inexpressiva, passando de 72,84 dB(A) para 72,74 dB(A), o que representa uma redução da pressão sonora da ordem de 2%. De qualquer forma, a análise da Figura 8-3 permite verificar que as maiores tendências de redução ocorrem nos picos da manhã, onde o fluxo de ônibus é maior.

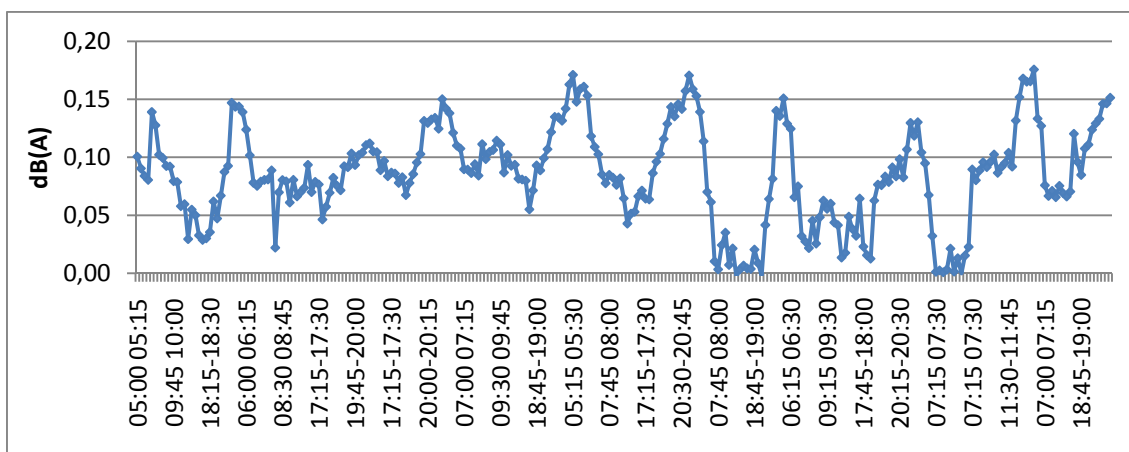


Figura 8-3 – Variação de ruído verificada em função das horas do dia para este cenário

8.2.3 Aumento da Ocupação Média das Motos

Também simulou-se a redução de motos em circulação devido a um aumento de sua ocupação, em uma situação hipotética, onde ter-se-ia uma ocupação igual a 2 passageiros por veículo. Com esta ocupação e mantendo-se a divisão modal, a diminuição do fluxo de veículos seria da ordem de 2,9%.

Neste cenário não haveria alteração na velocidade média do fluxo, visto que motocicletas possuem pouca ou nenhuma influência neste parâmetro. Dessa forma, também devido à pequena alteração no fluxo de veículos, a redução de ruído (Leq médio) seria mínima, passando de 72,84 dB(A) para 72,76 dB(A), o que em termos de pressão representa uma redução de 1,8%. Da mesma forma que as simulações anteriores, a tendência de diminuição, mesmo que pouco expressiva, ocorre mais fortemente na parte da manhã, devido a fatores já explicados.

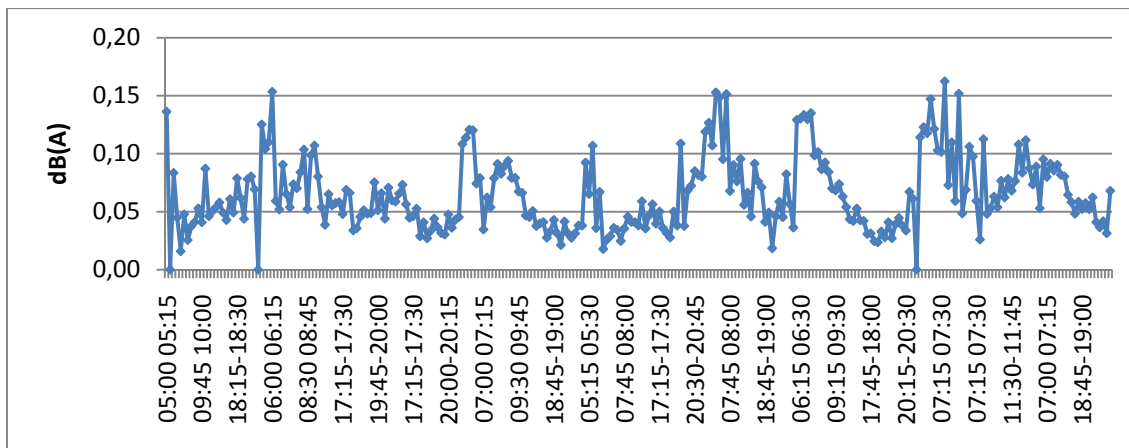


Figura 8-4 – Variação de ruído verificada em função das horas do dia para este cenário

8.2.4 Alteração Conjunta da Ocupação Média Veicular

Neste cenário, a ocupação média de autos, ônibus e motos sofreram as mesmas alterações feitas nos itens anteriores, no entanto, avaliar-se-á os efeitos destas mudanças conjuntamente.

A redução média do fluxo de veículos é da ordem de 27%. Considerando já o incremento de velocidade, a redução de ruído (Leq médio) observada foi de 16%, passando de 72,84 dB(A) para 72,08 dB(A).

É um valor médio, de forma geral, já considerável. No entanto, este valor simulado é médio, para todos os intervalos de Leq obtido ao longo do dia, situação que considera pouco a influência do grau de saturação que, conforme mostrado, tem influência direta nos níveis sonoros.

8.2.5 Discussão Geral das Simulações Realizadas

De forma geral, verifica-se que, em grande parte dos cenários simulados, a diminuição de ruído médio observada foi pequena ou até sem expressividade. Atribui-se genericamente este comportamento à compensação entre diminuição de fluxo e aumento de velocidade média devido à melhora na operação do tráfego urbano.

Outro ponto a ser levantado é com relação ao modelo calibrado. Conforme observações dos dados utilizados, infere-se que em poucos momentos obteve-se fluxo forçado na magnitude observada na análise qualitativa que avaliou a relação com o grau de saturação. Desta forma, o mesmo pode estar sendo pouco sensível a estas variações para valores de saturação muito próximos ou até maiores do que 1 (demanda maior do que a capacidade). Com isso, as análises realizadas que mostraram redução

praticamente nula poderiam se apresentar negativas, isto é, com a redução do fluxo e aumento da velocidade, o ruído tenderia a aumentar.

8.3 Aplicação do Modelo: Cenários de Planejamento (PlanMobBH)

Além das aplicações simuladas do modelo para cenários hipotéticos, o presente item realiza análises em função de cenários reais de planejamento de acordo com o estudo que está sendo realizado em paralelo ao fechamento desta Tese, denominado Plano de Mobilidade de Belo Horizonte, PlanMobBH, conforme já mencionado. O modelo, nos moldes desenvolvidos, vai ao encontro da base de dados disponível do referido plano para sua aplicação.

O PlanMobBH analisa um total de nove cenários distintos incluindo o atual, conforme sucintamente explanado a seguir:

- Rede Atual 2008: Configurações atuais de sistema viário, matriz OD e divisão modal, ambos no cenário existente;
- Rede Atual 2014: Configurações atuais de sistema viário, com matriz OD e divisão modal no ano de 2014;
- Rede BHTrans 2014: Configurações de sistema viário de acordo com propostas da BHTrans, com matriz OD e divisão modal no ano de 2014;
- Rede Copa 2014: Configurações de sistema viário de acordo com as intervenções realizadas para a Copa do Mundo, com matriz OD e divisão modal no ano de 2014;
- Rede Atual 2020: Configurações atuais de sistema viário, com matriz OD e divisão modal no ano de 2020;
- Rede BHTrans 2020: Configurações de sistema viário de acordo com propostas da BHTrans, com matriz OD e divisão modal no ano de 2020;
- Rede Copa 2020: Configurações de sistema viário de acordo com as intervenções realizadas para a Copa do Mundo, com matriz OD e divisão modal no ano de 2020;
- Rede Rest. Invest. 2020: Configurações de sistema viário com algumas restrições de investimento, com matriz OD e divisão modal no ano de 2020;
- Rede Invest. Pleno 2020: Configurações de sistema viário com investimentos pleno no sistema viário, com matriz OD e divisão modal no ano de 2020.

Cada um destes cenários considera diferentes redes de sistema viário, em função de determinados investimentos e intervenções. Para cada um foi obtida uma matriz de divisão modal, bem como dados de velocidade média do fluxo, número de viagens, etc.

A Tabela 8-2 apresenta os dados para os nove cenários simulados, sendo que as três últimas colunas são obtidas a partir da aplicação do modelo de predição de ruído

desenvolvido. A Coluna de Viagens é referente ao total de viagens que ocorrem em Belo Horizonte em um dia. Já a coluna Viagens por corredor, considera a distribuição do total de viagens igualmente nos treze principais corredores da cidade, a saber:

- Av. Amazonas
- Via Expressa
- Av. Pedro II
- Av. Antônio Carlos
- Av. Cristiano Machado
- Av. Andradas
- Av. N. Sra. do Carmos
- Av. Raja Gabaglia
- Rua Niquielina
- Rua Platina
- Rua Padre Eustáquio
- Av. Prudente de Moraes

As Colunas % Auto, % Transporte Coletivo, % Moto e % Bicletas são referentes aos percentuais de utilização de cada um destes modos de transporte. As colunas de Vel. Med. TC e Vel. Med. Auto são as velocidades médias do transporte coletivo e dos automóveis, respectivamente.

Além dos dados obtidos junto ao PlanMobBH, foram necessárias algumas considerações, conforme apresentadas na Tabela 8-3. O percentual de viagens que ocorrem na hora de pico foi considerado igual a 10%, conforme experiência do autor a partir da realização de monitoramentos diversos do tráfego na cidade de Belo Horizonte em seu âmbito profissional. As ocupações médias foram aquelas obtidas com a coleta de dados e apresentadas no Capítulo 4. O fluxo médio de caminhões também foi um valor médio a partir da avaliação dos resultados obtidos com a coleta de dados. O Fator Hora de Pico (FHP) foi considerando igual a 1 apenas a título de simplificação das análises.

Tabela 8-2 – Aplicação do modelo desenvolvido junto aos dados do PlanmobBH

Cenário	Ano	Viagens	Viagens p/ Corredor	% Auto	% Transporte Coletivo	% Moto	% Bicletas	Vel. Med. TC	Vel Med. Auto	Leq Médio dB(A)	Varição dB(A)	Varição (%) Pressão
Rede Atual	2008	492514	37886	38,5	54,5	7	0	19,8	26,2	67,36	0	0
Rede Atual	2014	554534	42656	42,1	50,9	7	0	18,5	22	67,36	0	0
Rede BHTrans	2014	557205	42862	39,4	53,3	7	0,3	20,4	24,4	67,82	0,46	11,2
Rede Copa	2014	557213	42863	37,7	54,4	7	0,9	23,5	26,1	68,04	0,68	16,9
Rede Atual	2020	616486	47422	45	48	7	0	18	17,1	67,51	0,15	3,5
Rede BHTrans	2020	619802	47677	42,1	50,6	7	0,3	19,7	20,3	67,79	0,43	10,4
Rede Copa	2020	619809	47678	40,1	51,9	7	1	23,1	22,3	68,08	0,72	18
Rede Restr. Invest.	2020	626477	48191	38,1	53,9	7	1	24,7	23,1	68,38	1,02	26,5
Rede Invest. Pleno	2020	626515	48193	32,9	54,1	7	6	26,3	26,5	68,45	1,09	28,5

Em função dos dados disponíveis serem gerais, para a cidade como um todo, utilizou-se como indicador para comparação o Nível Sonoro Equivalente (Leq) que, nestas circunstâncias, representaria um valor médio para cada situação. Este valor torna simples a comparação entre cenários sendo, portanto, um indicador bastante aplicável para a análise dos diversos cenários. Obviamente, com a disponibilidade de dados específicos para cada corredor ter-se-ão resultados mais precisos. No entanto, para o objetivo aqui proposto (comparação) não existem maiores perdas.

Tabela 8-3 Dados utilizados junto aos cenários do PlanMobBH

Parâmetro	Valor
Viagens HP (%)	0,1
Ocupação Veicular (p/v)	1,44
Ocupação Ônibus (p/v)	40
Ocupação Moto (p/v)	1,22
Fluxo de Caminhões (h)	12
Distância (m)	15
FHP	1
Via Arterial	2

A análise da tabela anterior permite chegar a conclusões que vão ao encontro do que já foi explanado até então em alguns itens do presente documento. Isto é, de forma geral, mesmo com ações bem sucedidas de gerenciamento da mobilidade, os níveis de ruído não diminuem, pelo contrário, quanto mais bem sucedida a ação, maior é o aumento do Leq médio.

Isto era esperado, visto que quão mais bem sucedida é a ação de gerenciamento da mobilidade, maior é a melhoria da operação do trânsito, o que diminui a ocorrência de congestionamentos e, conseqüentemente, aumenta a velocidade média do fluxo veicular, o que impacta direta e negativamente os níveis de ruído.

A observação da Figura 8-5 facilita a visualização das alterações dos níveis de ruído em cada um dos cenários. Fica clara a constatação de que na rede com investimentos plenos no ano de 2020 é onde ter-se-ão os maiores níveis de ruído, caso não sejam realizados investimentos em outros parâmetros influenciadores desta patologia. Por outro lado, indo contra ao senso comum, os menores níveis de ruído seriam obtidos para o ano de 2020 com a rede atual, isto é, sem que nenhum investimento ocorresse para privilegiar o transporte coletivo.

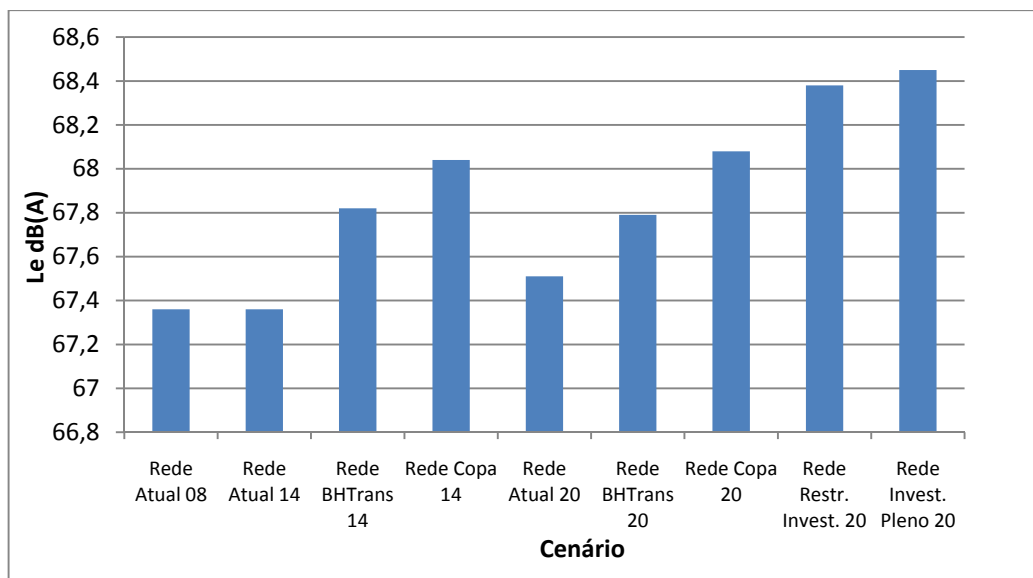


Figura 8-5 – Variação de ruído (L_{eq}) nos diversos cenários avaliados

Já a Figura 8-6 apresenta a variação percentual estimada para a pressão sonora em cada um dos cenários avaliados.

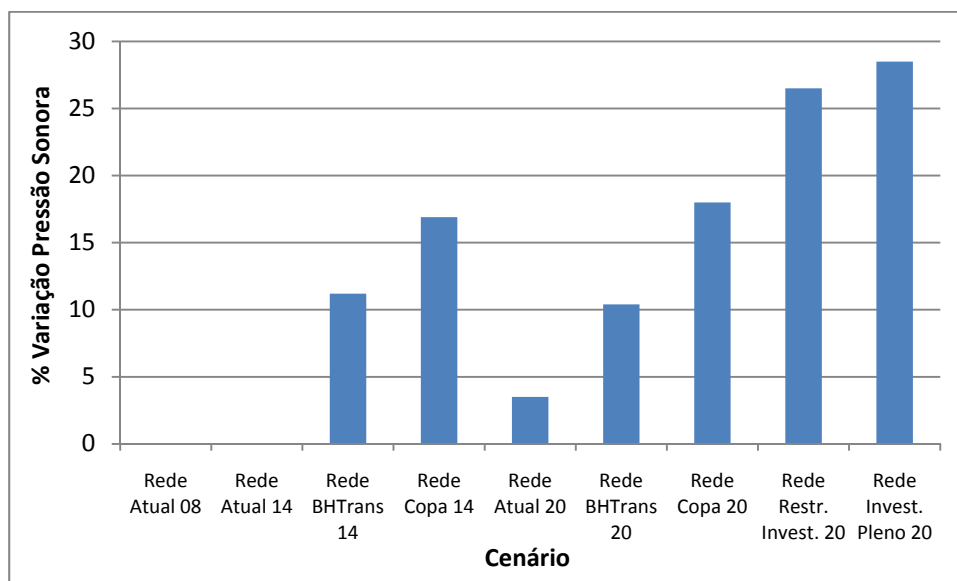


Figura 8-6 – Percentuais de incremento de pressão sonora nos diversos cenários avaliados

Verifica-se que na rede atual com matriz OD e divisão modal de 2014, o incremento seria igual a zero. O fato ocorre devido à compensação que ocorre entre aumento no número de viagens (aumenta o ruído) com a diminuição da velocidade média (diminui o nível de ruído), visto que nenhum investimento foi feito no sistema

viário. Por outro lado o incremento de ruído na rede com plenos investimentos no ano de 2020 ocasionaria um incremento de quase 30% nos níveis sonoros.

Em suma, as conclusões obtidas com a aplicação do modelo para os cenários avaliados pelo PlanMobBH também apontam para a necessidade de investimentos cada vez maiores no desenvolvimento de pneus e pavimentos menos ruidosos, visto que à medida que a velocidade média aumenta, esta passa ser a principal parcela de geração de ruído de tráfego.

9 Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros

9.1 Principais Constatações

O presente trabalho se propôs a avaliar algumas hipóteses e responder algumas perguntas básicas. Realizados todos os procedimentos explanados no capítulo de metodologia de trabalho foi possível obter subsídios para contemplar este propósito.

Em um contexto amplo de análise sobre o ruído de tráfego urbano, o presente trabalho permitiu verificar que o seu controle em centros urbanos é extremamente complexo, inclusive em proporções maiores do que o senso comum vinha mostrando até então.

Ponto crucial para realizar esta afirmação foi a conclusão de que a diminuição do fluxo de veículos não necessariamente vai colaborar para se diminuir os níveis sonoros. É bastante comum verificar afirmações de que a poluição sonora nos centros urbanos está cada vez pior visto que o número de carros nas cidades é cada vez maior e, conseqüentemente, a proporção dos congestionamentos etc. Existe sim, obviamente, uma relação direta entre aumento de volume de tráfego e carros nas ruas com os níveis de ruído. No entanto, foi mostrado na presente pesquisa que existem peculiaridades com relação a este comportamento, de forma que o mesmo não é válido genericamente.

Nos últimos anos, a tecnologia dos veículos aumentou significativamente, bem como as legislações sobre emissão sonora por motores, de forma que os automóveis de hoje fazem bem menos ruído do que a frota de 20 anos atrás. Especificamente, os motores em marcha lenta estão, de forma geral, emitindo ruído de forma menos expressiva. Com isto, as condições de operação de tráfego, que têm relação direta com a velocidade média do tráfego, passaram a ter uma influência ainda maior nos níveis de ruído.

De forma alguma a relação entre ruído e velocidade é uma novidade. O que está sendo apresentado é justamente que a velocidade média do fluxo está passando a ser uma variável independente ainda mais relevante na modelagem de ruído de tráfego. Isto é, em uma via que apresenta fluxo forçado (formação de filas, congestionamento, etc) o número de veículos presentes é bastante significativo, tanto que levou à completa utilização de sua capacidade. No entanto, em virtude de, nessas condições, a velocidade média do fluxo ser significativamente baixa, a emissão de ruído tende a ser menor, mesmo com um elevado número de veículos na via. Em outras palavras, horários onde a

utilização da capacidade da via é menor, em virtude de um volume de tráfego também menor, o ruído pode ser maior do que em horários de pico.

Isto leva a crer que a influência da geração de ruído em função do contato entre pneu e pavimento, bem como da aerodinâmica, pode ser preponderante em relação ao volume veicular, de forma que “*menos carros podem gerar mais ruído do que mais carros*”.

Isto contradiz um pouco as preocupações sobre as patologias oriundas dos congestionamentos cada vez maiores nos centros urbanos. Ao mesmo tempo, esta conclusão é similar ao que foi apresentado na pesquisa realizada por Rocha et al. (2006), que infere que as conseqüências do *Congestion Charging* em Londres foram negativas para a emissão de gases, conforme alguns estudos, visto que a mesma aumentou em função do aumento da velocidade média do tráfego no local.

Ora, a partir desta conclusão é despertada uma nova preocupação com relação à mitigação dos impactos ambientais de sistemas de transporte no que diz respeito ao ruído. Isto é, ações bem sucedidas do gerenciamento da mobilidade pode não ter efeitos benéficos na poluição sonora. É uma afirmação bastante complexa e, sem dúvida alguma, precisa ser estudada mais profundamente com a continuidade de pesquisas como esta aqui realizada.

A tendência verificada é que, poucos carros com velocidade média maior geram bem mais ruído do que muitos carros apenas ligados e, dessa forma, **deve-se investir em pesquisas** relacionadas à mitigação de **ruído gerado pelo contato entre pneu e pavimento** para minimizar o ruído nos centros urbanos, caso ações bem sucedidas do gerenciamento da mobilidade aumentem a velocidade média dos fluxos de tráfego.

De qualquer forma, vale ainda salientar que o termo *Gerenciamento da Mobilidade* é muito amplo e vai muito além de se transferir usuários de automóveis para o transporte coletivo. Pode-se citar, apenas a título de exemplificação, medidas de incentivo a modos não motorizados, a racionalização de viagens, a diminuição da extensão das viagens, a própria diminuição do n° de viagens, etc.

Corroborando as conclusões principais desta pesquisa, as simulações realizadas com os cenários de planejamento do PlanMoBH apontam para incrementos de ruído quão maiores forem os investimentos para alteração da divisão modal e melhoria da operação do tráfego na cidade de Belo Horizonte.

Já com relação às investigações realizadas nos pontos especiais (Expresso Tirandentes e Eixo Ambiental em Bogotá) as conclusões é que é possível ter uma capacidade significativamente maior de transporte de passageiros, sem necessariamente ter um aumento proporcional dos níveis de ruído. Apesar disto, a atividade urbana lindeira a estes locais contribui para que o ruído presente não seja tão perceptivelmente (e significativamente) menor. Ou seja, o ruído de tráfego é, definitivamente, uma parcela muito significativa, no entanto não é a única que compõe a poluição sonora em centros urbanos.

Uma ressalva importante a ser feita é que para se chegar à conclusão primordial desta pesquisa (menor potencialidade de geração de ruído por parte de fluxo congestionado) foram feitas diversas análises, quantitativas e qualitativas. No que se refere à análise qualitativa realizada, a mesma foi realizada em um trecho urbano de fluxo livre. Logo, a continuidade desta pesquisa deve avançar também em locais de fluxo interrompido, como em locais que operem como semáforos, ou interseções de *“Pare, Dê a Preferência, etc”*.

Com relação aos questionamentos propostos no início deste trabalho, quando se confrontam as conclusões principais discutidas anteriormente com as hipóteses a serem testadas, apresentadas no Capítulo 1, chega-se à conclusão que a hipótese 3 é a que possui maior tendência de ser verdadeira, isto é *“Mesmo com alterações da divisão modal, não há diminuição dos níveis de ruído (ou diminuição mínima), podendo inclusive haver aumento em determinadas composições da classificação veicular presente”*.

Além de verificação desta hipótese, a aplicação da metodologia proposta nesta pesquisa também forneceu subsídio para responder às questões elencadas no capítulo 3, quais sejam:

- *Quais são os impactos nos níveis sonoros em centros urbanos caso sejam contempladas as premissas mundiais de gerenciamento da mobilidade de transferência modal para meios de transporte coletivo?*

De forma geral, com um maior uso do transporte coletivo nos centros urbanos haverá uma tendência de diminuição do número de veículos em circulação e conseqüentemente um aumento na velocidade média do fluxo de tráfego. Com isto, há também uma tendência de os níveis sonoros aumentar. Para contornar esta situação paradoxal, deve-se investir de forma expressiva em pesquisas com o foco de diminuir a

geração de ruído do pavimento, a qual é tão maior quanto maior for a velocidade média dos veículos.

- *É possível diminuir os níveis sonoros nas cidades se mais pessoas utilizassem ônibus ou algum outro modo coletivo?*

Sim é possível. No entanto a simples transferência de usuários do automóvel para o ônibus implica em outras conseqüências que, dependendo de uma série de outros fatores, pode acontecer um cenário contrário, com aumento dos níveis sonoros.

- *A variação de ruído seria significativa?*

Apesar das análises quantitativas terem sido feitas apenas com um valor médio de Leq (capítulo anterior), e com uma variação pequena na escala decibel, obteve-se variações de cerca de 15%, o que já é considerável. Além disso, na análise qualitativa realizada com o grau de saturação verificou-se uma variação de 50% nos níveis de ruído com cerca de 3 dB(A).

- *Qual a ordem de grandeza de variação dos níveis sonoros para transportar a mesma quantidade de usuários em diferentes configurações de divisão modal?*

Obteve-se variações da ordem de até 15%, conforme já mencionado.

- *Como é a variação da geração de ruído per capita ao longo do dia?*

A contribuição per capita é maior logo no início do dia, diminuindo depois nos picos e com um leve incremento nos entre picos.

- *Sistemas de transporte como o Transmilenio de Bogotá podem contribuir para diminuir os níveis de ruído?*

Podem, uma vez que os mesmos têm uma capacidade significativa de transporte de passageiros gerando o mesmo ruído que sistemas de menor capacidade.

- *É possível ter uma capacidade significativamente maior, de transporte de passageiros em centros urbanos, sem ter um aumento proporcional do nível de ruído gerado?*

Sim, conforme comentado anteriormente.

- *Aonde devem focar os investimentos em pesquisas para minimização do ruído de tráfego urbano?*

As pesquisas devem focar em premissas do gerenciamento da mobilidade atreladas ao desenvolvimento de pavimentos menos ruidosos.

9.2 Conclusões Específicas

Além dos pontos chave desta pesquisa, que foram as análises dos efeitos da alteração da divisão modal nos níveis de ruído, bem como as investigações da relação entre condições de operação do tráfego e geração de ruído, foi possível chegar a uma série de conclusões adicionais, sendo que a maioria foi comentada no final de cada capítulo específico. No entanto, vale ainda salientar que, no que se refere ao modelo calibrado, bem como a alteração realizada no mesmo, verificou-se que o mesmo pode ser uma ferramenta para análise de impactos ambientais de sistemas de transporte ainda na fase de planejamento, conforme aplicado nesta tese para os cenários estudados no PlanoMobBH.

Os testes estatísticos realizados com o mesmo indicaram uma precisão bastante satisfatória. Além disso, pode-se inferir que os dados de entrada (variáveis independentes) do modelo são simples e de fácil obtenção, o que o torna mais utilizável.

No que diz respeito à análise da insalubridade devido a níveis sonoros nos diversos pontos mensurados, os resultados apontaram para o atendimento à legislação específica municipal apenas no turno diurno, visto que neste horário, e em locais fora do local de suposto incômodo, os níveis máximos permitidos são elevados, 75 dB(A). De qualquer forma, os valores obtidos podem ser considerados insalubres para aqueles que ficam constantemente expostos.

Já as investigações realizadas entre ruído e grau de saturação apontam para um valor ótimo, próximo à densidade ótima de tráfego, a partir do qual, mesmo que se aumente o fluxo de veículos, o ruído tende a não aumentar proporcionalmente ou até a diminuir.

9.3 Originalidade da Tese

No que diz respeito às contribuições inéditas desta tese, destaca-se a conclusão que, em certas condições, um volume menor de veículos pode causar mais ruído do que um volume maior. Em outras palavras, congestionamentos são, de forma geral, menos ruidosos. Isto chama a atenção para o fato de que, especificamente sobre ruído e

dependendo da forma como for feita, ações bem sucedidas de gerenciamento da mobilidade podem não ser benéficas para o ruído.

Além disso, ainda pode ser considerado como contribuição à ciência o modelo desenvolvido e alterado para ser utilizado especificamente em etapas de planejamento de transportes, onde as variáveis independentes são, basicamente, número de viagens, divisão modal, ocupação média veicular, etc. estes parâmetros são justamente os indicadores que planejadores urbanos trabalham em processos de planejamento (como o exemplo aplicado do PlanMobBH).

Também a segregação de ônibus e caminhões no modelo (ao invés de se utilizar apenas veículos pesados) se torna uma ferramenta mais flexível e especialmente preparada para realizar simulações de transferências modais entre os automóveis e ônibus, por exemplo.

Em suma, acredita-se que com as contribuições desta tese chama-se a atenção para uma linha de pesquisa que pode ser de suma importância na mitigação dos impactos ambientais de sistemas de transporte urbano e, em especial, a poluição sonora.

9.4 Recomendações para Trabalhos Futuros

A linha de pesquisa abordada nesta tese de doutorado pode fornecer contribuições ainda mais interessantes caso seja mais explorada. O desenvolvimento de investigações sobre a relação entre ruído e grau de saturação deve ser continuado com este foco específico. Além de analisar trechos de via de fluxo livre, conforme feito nesta pesquisa, deve-se ainda avaliar locais de fluxo interrompido, conforme já mencionado.

Também, constatado a influência cada vez maior da velocidade, à medida que se consiga contemplar as premissas de gerenciamento da mobilidade, é necessário realizar análises em diversas configurações de pavimento, com objetivo de verificar como aumentar a velocidade do fluxo sem necessariamente aumentar os níveis de ruído.

Outras pesquisas adicionais que podem e devem ser feitas relacionadas ao que foi apresentado nesta tese é a simulação de diferentes configurações de divisão modal e condições operacionais do fluxo de tráfego para se ter um valor 'X' de nível de ruído, o qual seja desejado em determinada condição.

Referências Bibliográficas

AHERN, A. A., & NIGEL, T. (2008). The Use of Stated Preference Techniques to Model Modal Choices on Interurban Trips in Ireland. *Transportation Research Part A*, Volume 42 (Número 1), pág. 15-27.

ALBA, J. R., GARCIA, D., & HERNANDEZ, F. (2003). Noise Effects of Reducing Traffic Flow Through a Spanish City. *Applied Acoustics*, Volume 64 (Número 3), pág. 343-363.

ALBEROLA, J., FLINDELL, I. H., & BULLMORE, A. J. (2005). Variability in Road Traffic Noise Levels. *Applied Acoustics*, Volume 66 (Número 10), pág. 1180-1195.

ALI, S. A. (2004). Investigation of the Dose-response Relationship for Road Traffic Noise in Assiut, Egypt. *Applied Acoustics*, Volume 65 (Número 11), pág. 1113-1120.

ALI, S. A., & TAMURA, A. (2003). Road Traffic Noise Mitigation Strategies in Greater Cairo, Egypt. *Applied Acoustics*, Volume 64 (Número 8), pág. 815-823.

ÁLVARES, P. A., & SOUZA, F. P. (Fevereiro de 1992). A Poluição sonora em Belo Horizonte. *Revista Acústica e Vibrações*, nº 10. Sociedade Brasileira de Acústica.

ALVES FILHO, J. M., LENZI, A., & ZANNIN, P. H. (Janeiro de 2004). Effects of Traffic Composition on Road Noise: a case study. *Transport Research Part D*, Vol. 9 (Nº 1), pp. pp. 75-80.

ALVES FILHO, J. M., LENZI, A., & ZANNIN, P. H. (2004). Effects of Traffic Composition on Road Noise: a case study. *Transportation Research Part D*, Volume 9 (Número 1), pág. 75-80.

ARRUDA, F. R., COELHO, J. L., SLAMA, J. G., & TENEMBAUM, R. A. (Abril de 2000). Aspectos do Controle de Ruído Urbano na Cidade do Rio de Janeiro. In: *Anais do XIX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*. Belo Horizonte.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1973). *TB-143: Poluição Sonora*. Rio de Janeiro: ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1963). *NB-101: Tratamento Acústico em Recintos Fechados*. ABNT.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (2000). *NBR-10151: Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas Visando o Conforto da Comunidade*. ABNT.

AYLOR, D. (Janeiro de 1972). Noise Reduction by Vegetation and Ground. *Journal of the Acoustical Society of America* , Vol. 51 (Nº 1B), pp.197-205.

BALASSIANO, R. (1995). *The future of the urban bus*. PhD thesis. University of Westminster, London.

BANERJEE, D., CHAKRABORTY, S. K., BHATTACHARYYA, S., & GANGOPADHYAY, A. (2008). Modeling of Road Traffic Noise in the Industrial Town of Asansol, India. *Transportation Research Part D , Volume 13* (Número 8), pág. 539-541.

BARBOSA, W. A. (1992). *Aspectos do Ruído Comunitário em Curitiba*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BARROS, C. P., & DIEKE, P. U. (2008). Choice Valuation of Traffic Restrictions: noise, pollution, and congestion preferences. A note. *Transportation Research Part D , Volume 13* (Número 5), pág. 347-350.

BEIRÃO, G., & CABRAL, J. A. (2007). Understanding Attitudes Towards Public Transport and Private Car: a qualitative study. *Transport Policy* , Volume 14 (Número 6), pág. 478-489.

BERANEK, L. L. (1971). *Noise and Vibration Control* . New York: Ed. McGraw Hill.

BHASKAR, A., CHUNG, E., & KUWAHARA, M. (2007). Development and Implementation of the Areawide Dynamic Road traffic Noise (DRONE) Simulator. *Transportation Research Part D , Volume 12* (Número 5), pág. 371-378.

BHTRANS, 2010. Arquivo eletrônico disponível em: <http://www.bhtrans.pbh.gov.br/portal/page/portal/portalpublico>. Acesso em 17/08/09.

BIRGISDÓTTIR, H., PIHL, K., BHANDER, G., HAUSCHILD, M. Z., & CHRISTENSEN, T. H. (2006). Environmental Assessment of Roads Constructed with and without Bottom Ash from Municipal Solid Waste Incineration. *Transportation Research Part D , Volume 11* (Número 5), pág. 358-368.

BORIBOONSOMSIN, K., & BARTH, M. (2008). Impacts of Freeway High-Occupancy Vehicle Lane Configuration on Vehicle Emissions. *Transportation Research Part D , Volume 13* (Número 2), pág. 112-125.

BORTOLI, P. S. (2002). *Análise da Poluição Sonora Urbana em Zoneamentos Distintos da Cidade de Curitiba* . Curitiba, Paraná: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, CEFET-PR.

BOSE, R. K., & SRINIVASACHARYT, V. (1997). Policies to Reduce Energy Use and Environmental Emissions in the Transport Sector: a case of Delhi City. *Energy Policy*, Volume 25 (Número 14-15), pág. 1137-1150.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO. (1978). Portaria nº 3.214/78 - Atividades e Operações Insalubres: proteção no ambiente de trabalho contra ruídos acima de 85 dB(A) - NR15. *Consolidação das Leis Trabalhistas*. Ministério do Trabalho.

BRUEL & KJAER SOUND & MEASUREMENT A/S. (2001). *Environmental Noise*. Denmark: K Larsen & Son.

BURGESS, M. (1996). Trends in Traffic Noise Research over 25 Years. In: F. A. Hill, & R. Lawrence (Ed.), *In: Anais do Congresso Internacional de Engenharia de Controle de Ruído - Internoise 96. Vol. 1*. Liverpool: Institute of Acoustics.

CALIXTO, A. (2003). Modelamento Matemático da Emissão Sonora em Rodovias Federais que Adentram Área Urbanas. *In: Revista Acústica*, Vol. 34.

CALIXTO, A., DINIZ, F., & ZANNIN, P. H. (2003). Modelamento Matemático da Emissão Sonora em Rodovias Federais que Adentram Áreas Urbanas. *Revista de Acústica*, Vol. 34.

CAN, A., LECLERCQ, L., & LELONG, J. (2008). Dynamic Estimation of Urban Traffic Noise: influence of traffic and noise source representations. *Applied Acoustics*, Volume 69 (Número 10), pág. 858-867.

CASELLO, J. M. (2007). Transit Competitiveness in Polycentric Metropolitan Regions. *Transportation Research Part A*, Volume 41 (Número 1), pág. 19-40.

COMPANIA DE ENGENHARIA DE TRÁFEGO (CET-SP) 1982. Boletim Técnico nº. 31. São Paulo-SP.

CHOAY, F. (1979). *O Urbanismo: utopias e realidade, uma antologia*. São Paulo: Perspectiva S. A.

COELHO, M. C., FARIAS, T. L., & ROUPHAIL, N. M. (2006). Effect of Roundabout Operations on Pollutant Emissions. *Transportation Resarch Part D*, Volume 11 (Número 5), pág. 333-343.

COELHO, M. C., FARIAS, T. L., & ROUPHAIL, N. M. (2005). Impact of Speed Control Traffic Signals on Pollutant Emissions. *Transport Research Part D*, Volume 10 (Número 4), pág. 323-340.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, 1999. Resolução número 001 (4) de 08/03/90.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA, 1999. Resolução número 252 01/02/99.

CONSOLIDACAO DAS LEIS TRABALHISTAS. Portaria N.º 3.214/78 – “Atividades e operações insalubres: proteção no ambiente de trabalho contra ruídos acima de 85 dB(A) – NR 15”. Ministério do Trabalho, 1978.

DAVISON, L. J., & KNOWLES, R. D. (2006). Bus Quality Partnerships: modal shift and traffic decongestion. *Journal of Transport Geography*, Volume 14 (Número 3), pág. 177-194.

DEN BOER, L. C., & SCHROTEN, A. (2008). *Traffic Noise Reduction in Europe: health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise*. Arquivo eletrônico disponível em: <http://www.transportenvironment.org/publications>. Acesso em 25/09/08.

DEPARTMENT OF TRANSPORT, & WELSH OFFICE (1988). *Calculation of Road Traffic Noise*. London: H.M.S.O..

DIANA, M., QUADRIFOGLIO, L., & PRONELLO, C. (2007). Emissions of Demand Responsive Services as an Alternative to Conventional Transit Systems. *Transportation Research Part D*, Volume 12 (Número 3), pág. 183-188.

EBTU (1988) Gerência do Sistema de Transporte Público de Passageiros – STPP, Módulos de Treinamento, Planejamento da Operação – Vol. IV. - Diagnóstico do Sistema Existente. Empresa Brasileira dos Transportes Urbanos, Brasília, DF.

EMTU, (2010). Arquivo eletrônico disponível em: <http://www.emtu.sp.gov.br/tiradentes/index.htm>. Acesso em 04/03/2010.

FERNANDES, J. C. (2002). Apostila. *Acústica e Ruídos*. Bauru: UNESP - Faculdade de Engenharia.

FREITAS, V. (20 de Agosto de 2008). *Expresso Tiradentes Completa 500 dias de operação*. Acesso em Dezembro de 2008, disponível em Prefeitura de São Paulo: <http://www6.prefeitura.sp.gov.br/noticias/sec/transportes/2008/08/0086>

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. (2002). *Pesquisa Origem e Destino 2001-2002*. Belo Horizonte: Fundação João Pinheiro.

GERGES, S. N. (1992). *Ruído: fundamentos e controle*. Florianópolis.

GROOT, J. d., & STEG, L. (2006). Impact of Transport Pricing on Quality of Life, Acceptability, and Intentions to Reduce Car Use: an exploratory study in five european countries. *Journal of Transport Geography*, Volume 14 (Número 6), pág. 463-470.

GÜNDOĞDU, Ö., GÖKDAĞ, M., & YÜKSEL, F. (2005). A Traffic Noise Prediction Method Based on Vehicle Composition Using Genetic Algorithms. *Applied Acoustics* , Volume 66 (Número 7), pág. 799-809.

HALLER, M., WELCH, E., LIN, J., & FULLA, S. (2007). Economic Costs and Environmental Impacts of Alternative Fuel Vehicle Fleets in Local Government: an interim assessment of a voluntary ten-year conversion plan. *Transportation Research Part D* , Volume 12 (Número 3), pág. 219-230.

HALLIDAY, D., & RESNICK, R. (1984). *Física* (Vol. 2). Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora.

HEUTSCHI, K. (1995). A Simple Method to Evaluate the Increase of Traffic Noise Emission Level Due to Buildings for a Long Straight Street. *Applied Acoustics* , Volume 44 (Número 3), pág. 259-274.

HOOVER, R. M. (1961). *Tree Zones as Barriers for Control of Noise due to Aircraft operation*. Relatório 844, Bult and Newman Inc.

JOSSE, R. (1975). *La Acústica en la Construcción*. Barcelona: Ed. Gustavo Gili.

KIM, K. S., PARK, S. J., & KWEON, Y.-J. (2007). Highway Traffic Noise Effects on Land Price in an Urban Area. *Transportation Research Part D* , Volume 12 (Número 4), pág. 275-280.

KINSLER, L. E., FREY, A. R., COPPENS, A. B., & SANDERS, J. V. (1982). *Fundamentals of Acoustics* (3^a ed.). John Wiley & Sons.

LAKSHMANAN, T. R. (1997). Factors Underlying Transportation CO₂ Emissions in the USA: a decomposition analysis. *Transportation Research Part D* , Volume 2 (Número 1), pág. 1-15.

LANGDON, B. A. and SCHOLLES, W. E. (1968). The traffic noise index: a method of controlling noise nuisance. Report no. BRS-CP-38-68. April. Publications Officer, Building Research Station. Herts, England. 20p..

LEBIEDOWSKA, B. (2005). Acoustic Background and Transport Noise in Urbanised Areas: A Note on the Relative Classification of the City Soundscape. *Transportation Research Part D* , Volume 10 (Número 4), pág. 341-345.

LELAND, I. K., & RICHARDS, R. L. (1998). *Acoustics and Noise Control Handbook for Architects and Builders*. Florida: Krieger Publishing Company.

LI, B., TAO, S., & DAWSON, R. W. (2002a). Evaluation and Analysis of Traffic Noise from Main Urban Roads in Beijing. *Applied Acoustics* , Volume 63 (Número 10), pág. 1137-1142.

LI, B., TAO, S., DAWSON, R. W., CAO, J., & LAM, K. (2002b). A Gis Based Traffic Noise Prediction Model. *Applied Acoustics* , *Volume 63* (Número 6), pág. 679-691.

LIN, J., & GE, Y. E. (2006). Impacts of Traffic Heterogeneity on Roadside Air Pollution Concentration. *Transportation Research Part D* , *Volume 11* (Número 2), pág. 166-170.

LOGIT Engenharia Consultiva Ltda (2010). “*Plano de Mobilidade Urbana de Belo Horizonte*”. Belo Horizonte-MG.

MAIA, M. A. (2003). *Contribuição ao Mapeamento do Ruído Urbano na Cidade de Porto Alegre-RS* . Porto Alegre: Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS.

MCKINNON, A. C. (2005). The Economic and Environmental Benefits of Increasing Maximum Truck Weight: the British Experience. *Transport Research Part D* , *Volume 10* (Número 1), pág. 77-95.

MIDENET, S., BOILLOT, L., & PIERREL, J.-C. (2004). Signalized Intersection with Real-time Adaptive Control: on-field assessment of CO₂ and pollutant emission reduction. *Transportation Research Part D* , *Volume 9* (Número 1), pág. 29-47.

MILLAR, A. (1993). Making the City Bus a "Green Machine". *Urban Transport International*, Issue 1, pp. 11-14.

MOORE, J. F. (1966). *Designs for Noise Reduction*. London.

MORILLAS, J. M. (2002). An Environmental Noise Study in the City of Cáceres, Spain. *Applied Acoustics* , *Volume 63* (Número 10), pág. 1061-1070.

MOTTA, R. A. ; ABREU, A. A. ; RIBEIRO, S. K. . (2009). Benefícios Ambientais em Decorrência da Implantação do Sistema de Transporte Rápido e de Alta Capacidade de Ônibus em Bogotá o Caso do Transmilênio. In: XXIII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Vitória-ES.

MURGEL, E. (2000). Especificação do Pavimento como Agente de Controle de Ruído de Tráfego. *Anais do XIX Encontro da SOBRAC*.

NIEMEYER, M. L., & SLAMA, J. G. (1998). O Ruído e a Cidade: elementos de ruído urbano. In: V. del Rio (org.), *Arquitetura, Pesquisa e Projeto* (1ª ed., Vol. 1, pp. 75-89). São Paulo: PROARQ.

NOLAND, R. B., & QUDDUS, M. A. (2006). Flow Improvements and Vehicle Emissions: Effects of Trip Generation and Emission Control Technology. *Transportation Research Part D , Volume 11* (Número 1), pág. 1-14.

PAINULY, J.P., PARIKH, J. (1993). Policy Analysis of Oil Substitution by Natural Gas in India. *Energy Policy*, January, pp. 43-52.

PAMANIKABUD, P., & VIVITJINDA, P. (Novembro de 2002). Noise Prediction for Highways in Thailand. *Transportation Research Part D , Vol. 7* (Nº 6), pp. pp. 441-449.

PARKHURST, G., & RICHARDSON, J. (2002). Modal Integration of Bus and Car in UK Local Transport Policy: the case for strategic environmental assessment. *Journal of Transport Geography , Volume 10* (Número 3), pág. 195-206.

PAZ, E. C., FERREIRA, A. M., & ZANNIN, P. H. (2005). Estudo Comparativo da Percepção do Ruído Urbano. *Revista Saúde Pública , Volume 39* (Número 3), pág. 467-472.

PEETERS, P., SZIMBA, E., & DUIJNISVELD, M. (2007). Major Environmental Impacts of Europeans Tourist Transport. *Journal of Transport Geography , Volume 15* (Número 2), pág. 83-93.

PIMENTEL, R. L., MELO, R. A., CHAVES, G. V., JUNIOR, M. C., & FILHO, M. R. (2007). Impacto Gerado por Alterações em Via Urbana no Nível de Ruído em Edificações Circunvizinhas. In: *Anais do XXI ANPET*. Rio de Janeiro, RJ.

PIMENTEL-SOUZA, F. (2000). Efeito do Ruído no Homem Dormindo e Acordado. *Revista de Acústica e Vibrações , Número 25*.

PINTO, R. (2010). *Uma alternativa para viabilizar as medições necessárias à vistoria do ruído veicular, na condição parado, nos postos do Detran, no estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado. Programa de Engenharia Mecânica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

POTOGLOU, D., & KANAROGLOU, P. S. (2005). Carbon Monoxide Emissions from Passenger Vehicles: predictive mapping with an application to Hamilton, Canada. *Transportation Research Part D , Volume 10* (Número 2), pág. 97-109.

POYARES, C. N. (2000). *Critérios para Análise dos Efeitos de Políticas de Restrição ao Uso de Automóveis em Áreas Centrais: Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro: Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ Programa de Engenharia de Transportes.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. (1992). *Cadernos de Meio Ambiente: Poluição Sonora*. Belo Horizonte: Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. (2008). Acesso em 2008, disponível em Prefeitura Municipal de Belo Horizonte: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/>

QUADROS, F. d. (2004). *Avaliação do Ruído Ambiental Gerado por Veículo de Utilidade Pública Estudo de Caso: caminhão de coleta de resíduos domiciliar*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, setor de Tecnologia, Curitiba.

QUERRIEN, A. (1995). *A Civilização das Cidades e Patologias Urbanas. Ciência e Tecnologia Hoje*. (N. Witkowski, Ed., & R. L. Ferreira, Trad.) São Paulo: Ed. Ensaio.

RAPOSO, I., & MATOS, J. (2004). *Dia Europeu sem Carro 2004: monitoração de ruído*. Instituto do Ambiente, Lisboa.

REIS, J. N., & FARIA, C. A. (2000). *Poluição Sonora Decorrente do Fluxo de Veículos: um Estudo de Caso*. Uberlândia: Relatório Técnico, FECIV-UFU.

ROBINSON, D. W. (1971). Towards a Unified System of Noise Assessment. *Journal of Sound and Vibration*, Volume 14 (Número 3), pág. 279-298.

ROCHA, A. C. B., FROTA, C. D., TRIDAPALLI, P., KUWAHARA, N., PEIXOTO, T. F. A. & BALASSIANO R., 2006. *Gerenciamento da mobilidade: experiências em Bogotá, Londres e alternativas pós-modernas*. In: Anais do 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planeamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável, Pluris. Braga, Portugal.

RODRIGUES, F. (2006). *Análise de Ruído em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: Desenvolvimento de Modelos de Previsão*, Dissertação de Mestrado, 136 p. Uberlândia: Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia.

RODRIGUES, F.; FARIA, C. A. ; MAGALHÃES, M. C.; SILVA, M. G. (2006a). Ruído em Terminais de Transporte Coletivo Urbano: análises e modelagem. In: Anais do XXVII Iberian Latin American Congress On Computational Methods In Engineering - CILAMCE, Belém-PA.

RODRIGUES, F.; FARIA, C. A. ; MAGALHÃES, M. C.; SILVA, M. G. (2006b). The Development of a Model for the Prediction of Noise Inside Bus Stations:

A Comparison with the CRTN Method. In: Proceedings of Internoise 2006 Internoise, Honolulu - USA.

RODRIGUES, F., & BALASSIANO, R. (2007a). *Avaliação da Influência da Divisão Modal nos Níveis de Poluição Sonora em Áreas Urbanas Utilizando Modelos de Predição Macroscópicos*. PET/COPPE-UFRJ.

RODRIGUES, F., VECCI, M. A., & MOURA, L. C. (2007b). Noise in Highways: Development of a Statistical Prediction Model. In: *14° International Congress of Sound & Vibration, ICSV-14*. Cairns, Austrália.

RODRIGUES, F.; FARIA, C. A. ; NASSI, C. D. ; SILVA, K. R. ; LAGE, L. (2008). Ruído em terminais de transporte coletivo urbano: um estudo de caso em BH. In: Anais do XXII ANPET, Fortaleza-CE.

RODRIGUES, F., NASSI, C. D., RESENDE, C. C., & RODRIGUES JÚNIOR, A. L. (2008a). Development of a Prediction Traffic Noise Model to Roads in Duplication Process. In: *15° International Congress of Sound & Vibration, ICSV-15*. Daejeon, Korea.

RODRIGUES, F., NASSI, C., PORTUGAL, L., BALASSIANO, R., & RESENDE, C. (2008b). Assessments of the Impacts in the Traffic Noise in Urban Centers by Changing Modal Split: Simulation with Macroscopic Models. In: *37° International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Inter-Noise 2008*. Shanghai, China.

RODRIGUES, F., C. D., RESENDE F., NASSI, C., KAHN, S. (2010). Traffic engineering indicators analysis as explanatory variables of traffic noise. In: *39° International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Inter-Noise 2010*. Lisboa, Portugal

ROMILLY, P. (1999). Substitution of Bus for Car Travel in Urban Britain: an Economic Evaluation of Bus and Car Exhaust Emission and Other Costs. *Transportation Research Part D, Volume 4* (Número 2), pág. 109-125.

RUTHERFORD, D., & ORTOLANO, L. (2008). Air Quality Impacts of Tokyo's On-road Diesel Emission Regulations. *Transportation Research Part D, Volume 13* (Número 4), pág. 239-254.

SANDROCK, S., GRIEFAHN, B., KACZMAREK, T., HAFKE, H., PREIS, A., & GJESTLAND, T. (2008). Experimental Studies on Annoyance Caused by Noises from Trams and Buses. *Journal of Sound and Vibration, Volume 313* (Número 3-5), pág. 908-919.

SANTOS, V. D. (2004). *Avaliação da Poluição Sonora Provocada pelo Tráfego em um Parque Urbano Utilizando Ferramentas de Simulação e Geoprocessamento*. Salvador: Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia.

SCHOMER, P. (2001). *Assessment of Noise Annoyance*. Schomer and Associates, Inc.

SILVA, G. C., & GOLDNER, L. G. (1998). Tráfego e Meio Ambiente: Avaliação dos Níveis de Monóxido de Carbono e Ruído nas Áreas Urbanas de Florianópolis. In: *III Encontro Ibero-Americano de Unidades Ambientais do Setor de Transportes*.

SILVEIRA, R., & JÚNIOR, J. A. (2007). Metodologia de Análise do Impacto Ambiental do Ruído de Tráfego em Terminais de Transporte Coletivo Urbano no Município de Fortaleza. In: *Anais do XXI Anpet*. Rio de Janeiro.

SPECHT, L. P., KOHLER, R., KHATCHATOURIAN, O. A., & CALLAI, S. C. (2007). Avaliação do Ruído Causado pelo Tráfego de Veículos em Diferentes Rodovias. In: *Anais do XXI Anpet*. Rio de Janeiro.

STASSEN, K. R., COLLIER, P., & TORFS, R. (2008). Environmental Burden of Disease due to Transportation Noise in Flanders (Belgium). *Transportation Research Part A, Volume 13* (Número 6), pág. 355-358.

STEELE, C. (2001). A Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models. *Applied Acoustics, Volume 62* (Número 3), pág. 271-287.

TANG, S. K., & TONG, K. K. (2004). Estimating Traffic Noise for Inclined Roads with Freely Flowing Traffic. *Applied Acoustics, Volume 65* (Número 2), pág. 171-181.

TYAGI, V., KUMAR, K., & JAIN, V. K. (2006). A Study of the Spectral Characteristics of Traffic Noise Attenuation by Vegetation Belts in Delhi. *Applied Acoustics, Volume 67* (Número 9), pág. 926-935.

TRANSMILENIO, (2010). Arquivo eletrônico disponível em <http://www.transmilenio.gov.co/WebSite/Default.aspx>. Acesso em 21/04/2010.

VALADARES, V. M., *Ruído de Tráfego Veicular em Corredores de Transporte Urbano: Estudo de Caso em Belo Horizonte – MG*. 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina.

VALADARES, V. M., & SUYAMA, E. (2003). Traffic Noise on Arterial Street in Belo Horizonte City: a Comprehensive Database. In: *32º International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Inter-noise 2003*.

VECCI, M. A. (2002). Apostila. *Ruído Ambiental*. Belo Horizonte: Curso de Especialização em Engenharia Sanitário e Meio Ambiente/UFMG.

VERSFELD, N. J., & VOS, J. (2002). A Weighted Equivalent Sound Level as a Predictor of the Annoyance Caused by Road Traffic Consisting of Various Proportion of Light and Heavy Vehicles. *Journal of Sound and Vibrations*, Volume 253 (Número 2), pág. 389-399.

VON GIERKE, E. H., & ELDRED, K. M. (1993). Efeitos do Ruído no Homem. *Noise/News International (NNI)*, Vol. 1 (Nº 2), pp. 67-89. (SOBRAC, Trad.)

WATTS, G., CHINN, L., & GODFREY, N. (1999). The Effects of Vegetation on the Perception of Traffic Noise. *Applied Acoustics*, Volume 56 (Número 1), pág. 39-56.

WITTE, A. d., MACHARIS, C., LANNON, P., POLAIN, C., STEENBERGHEN, T., & WALLE, S. V. (2006). The Impact of "Free" Public Transport: the case of Brussels. *Transportation Research Part A*, Volume 40 (Número 8), pág. 671-689.

ZANNIN, P. H., CALIXTO, A., DINIZ, F. B., FERREIRA, J. A., & SCHUHLLI, R. B. (2002). *Incomodo Causado pelo Ruído Urbano a População de Curitiba*. In: *Revista Saúde Pública.*, Arquivo eletrônico disponível em <http://www.scielosp.org/pdf/rsp/v36n4/11773.pdf> Acesso em 08/09/07.

ZHANG, S., JIANG, K., & LIU, D. (2007). Passenger Transport Modal Split Based on Budgets and Implication for Energy Consumption: approach and application in China. *Energy Policy*, Volume 35 (Número 9), pág. 4434-4443.

Anexos: Apresentação de Resultados por Ponto

A. Avenida Amazonas Ponto 1

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado na calçada adjacente (AD) ao sentido Bairro >> Centro. A Figura 1 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local exato que o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado.

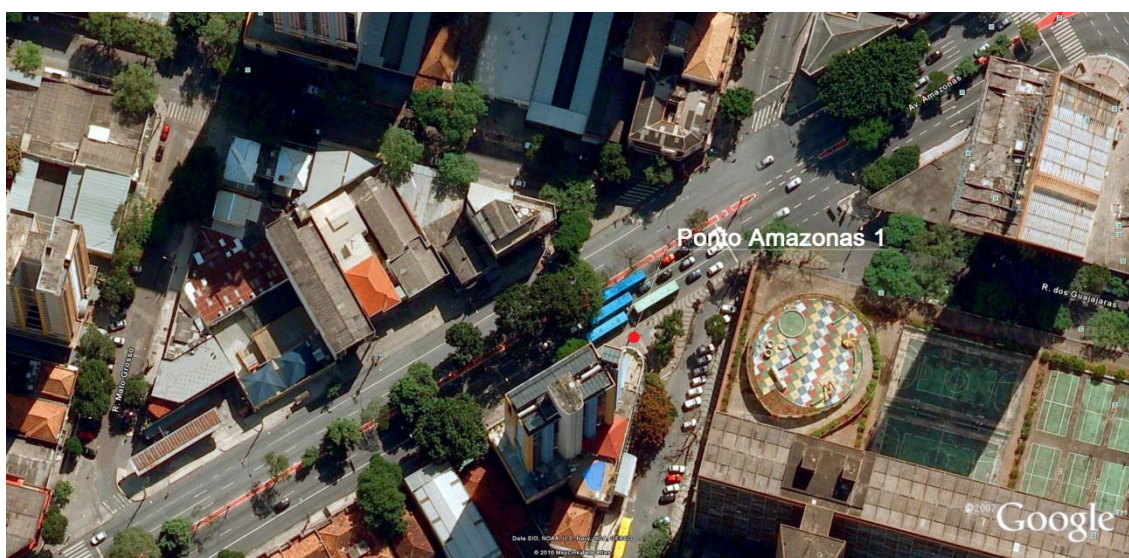


Figura 1 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Amazonas 1

A Tabela 1 apresenta o resumo dos indicadores de ruído mensurados neste ponto.

Tabela 1 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Amazonas 1

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	44,7	52,7	67,2	65,8	76,1	68,1	79,1	94,8
Tarde	52,2	55,9	67,8	66,4	75,4	69	78,1	94

Onde:

- Min é o menor valor observado durante o tempo de medição;
- L90 Min é o menor nível percentil L90 observado dentre os diversos intervalos de 15 minutos;
- L90 Max é o maior nível percentil observado L90 dentre os diversos intervalos de 15 minutos;
- Leq Min é o menor nível sonoro equivalente observado dentre os diversos intervalos de 15 minutos;

- Leq Max é o maior nível sonoro equivalente observado dentro os diversos intervalos de 15 minutos;
- L10 Min é o menor nível percentil L10 observado dentro os diversos intervalos de 15 minutos;
- L10 Max é o maior nível percentil observado L10 dentro os diversos intervalos de 15 minutos;
- Max é o maior valor observado durante o tempo de medição.

Salienta-se que para todos os outros pontos de medição serão apresentados os mesmos indicadores e utilizar-se-á a mesma nomenclatura de parâmetros.

Verifica-se que, de forma geral, os níveis de ruído no turno da manhã foram menores que no turno da tarde, especialmente quando se observa os valores mínimos, de ruído de fundo e nível sonoro equivalente (Leq). Todavia, nos dois turnos mensurados os níveis encontrados estão elevados. A Figura 2 e a Figura 3 ilustram, respectivamente, a variação do nível sonoro equivalente no turno da manhã e da tarde.

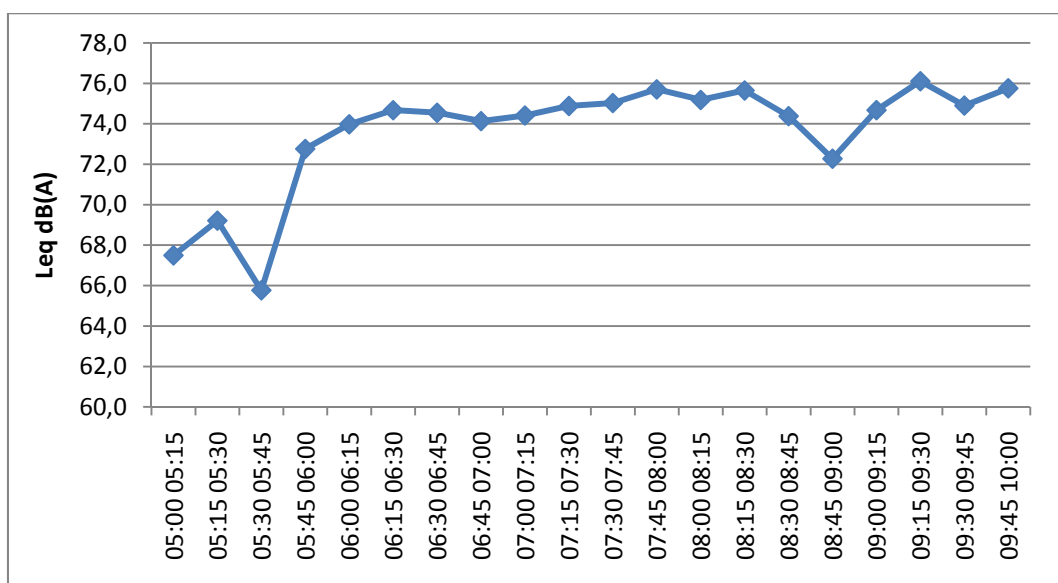


Figura 2 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Amazonas 1

A análise da Figura 2 permite concluir que a partir do momento que o tráfego começa a se intensificar, o Leq cresce junto e, a partir de então, permanece praticamente constante.

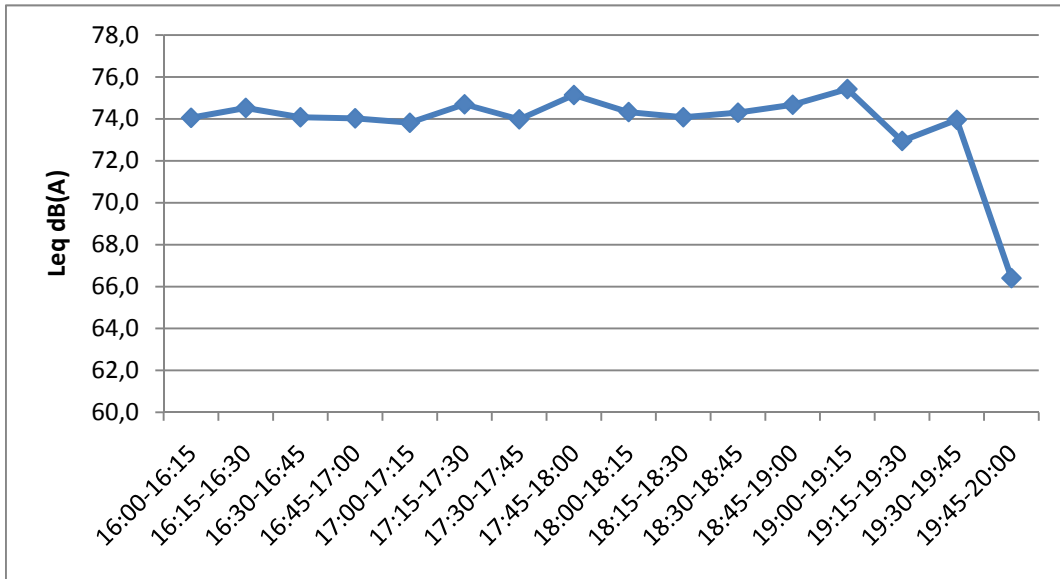


Figura 3 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Amazonas 1

Similarmente ao que ocorre de manhã neste ponto, enquanto o tráfego é intenso, também no período da tarde os níveis de ruído são praticamente constantes e só começa a diminuir no meio do turno vespertino, onde o volume de veículos na via já diminuiu significativamente, conforme poderá ser verificado nos gráficos à seguir.

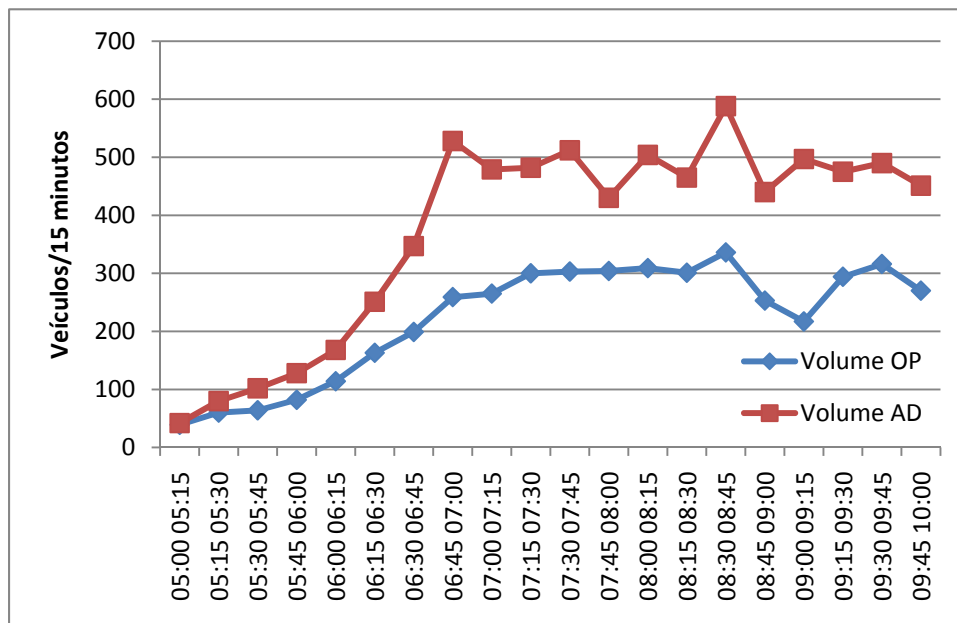


Figura 4 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Amazonas 1

Pela Figura 4 fica claro o aumento do fluxo de veículos com o amanhecer do dia, especialmente no sentido AD (bairro >> centro), conforme esperado. Fato relevante é

que o fluxo fica praticamente constante a partir de 07:00h, o que explica os valores praticamente constantes para o Leq também neste horário.

Já a Figura 5 apresenta a variação do fluxo de veículos no turno da tarde, o qual diminui gradativamente com o início da noite (fim do horário de pico), também conforme esperado. Fato que merece destaque é que no pico da tarde o fluxo também é maior no sentido bairro >> centro (AD). No entanto, o fato ocorre devido a uma retenção significativa no semáforo no sentido contrário (baixa relação entre tempo de verde e tempo de ciclo), o que gera formação de fila no trecho anterior, evitando que o número de veículos que passa por aquela seção seja maior.

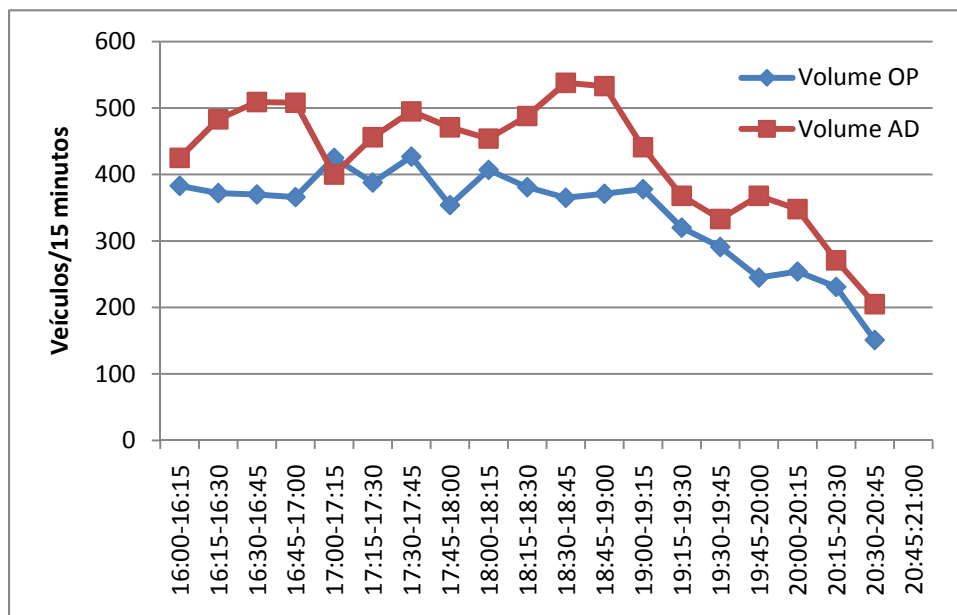


Figura 5 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Amazonas 1

A Figura 6 apresenta a variação da velocidade média do fluxo por sentido, na qual é possível verificar uma diminuição gradativa deste parâmetro com o amanhecer. O fato ocorre devido ao aumento do número de veículos em circulação, conforme esperado, visto que este fenômeno é uma relação clássica (fluxo veicular x velocidade) estudada pela engenharia de tráfego (quanto maior o fluxo de veículos, menor é a velocidade).

As velocidade médias obtidas de madrugada (5h da manhã) são bastante elevadas, principalmente por ser uma área totalmente urbanizada. Isto faz com que, mesmo tendo um baixo fluxo veicular, o ruído já seja elevado, conforme visto.

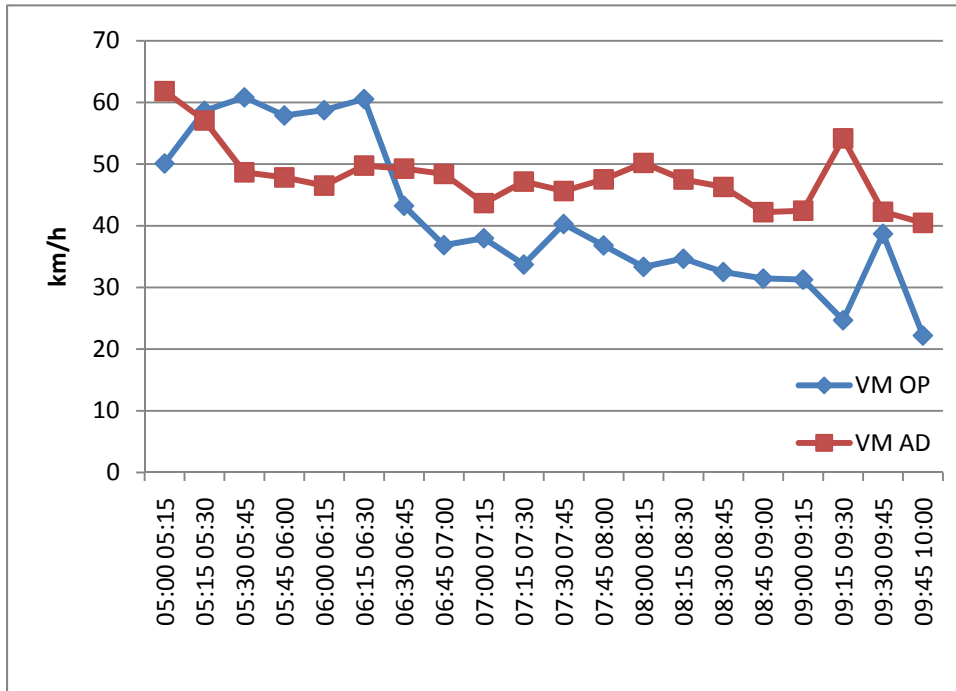


Figura 6 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Amazonas 1

Na Figura 7 podemos ver um fenômeno similar ao que ocorre no pico da manhã, isto é, de forma geral, a velocidade média vai aumentado com o início da noite, devido à diminuição do fluxo veicular.

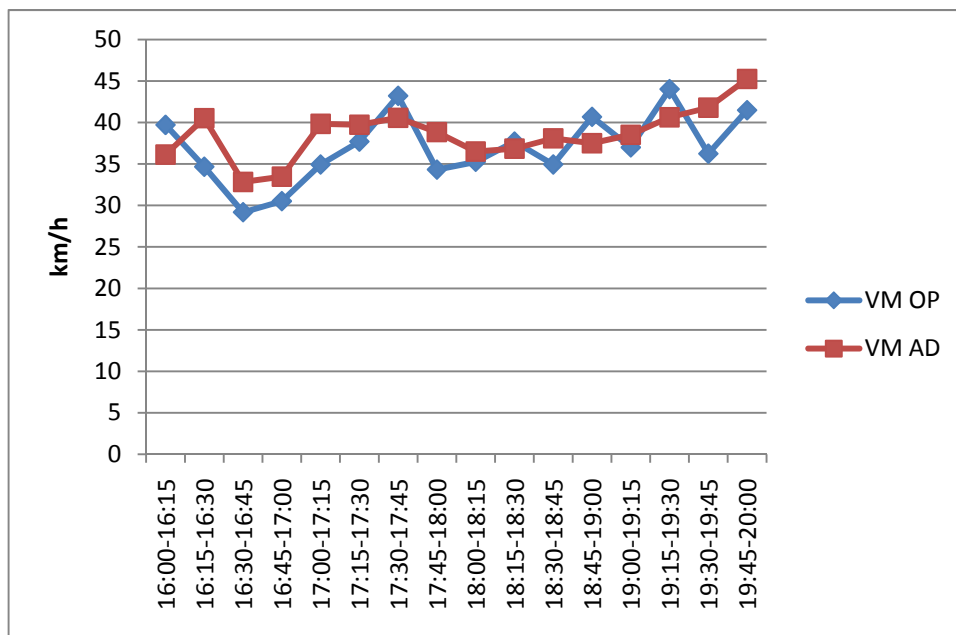


Figura 7 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Amazonas 1

No que diz respeito à ocupação veicular neste ponto, a Tabela 2 apresenta o resumo dos dados obtidos para os dois turnos de medição.

Tabela 2 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Amazonas 1

Turno	Ocupação Veicular (pessoas/veículo)								
	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,00	1,49	1,88	1,00	1,18	1,56	3,79	23,21	56,96
Tarde	1,24	1,54	1,84	1,00	1,26	1,45	11,32	29,64	54,74

Onde:

- Min Auto é a menor ocupação média identificada em automóveis em algum intervalo de 15 minutos de medição;
- Med Auto é a ocupação média obtida para automóveis naquele turno;
- Max Auto é a maior ocupação média identificada em automóveis em algum intervalo de 15 minutos de medição;
- Min Moto é a menor ocupação média identificada em motos em algum intervalo de 15 minutos de medição;
- Med Moto é a ocupação média obtida para moto naquele turno;
- Max Auto é a maior ocupação média identificada em automóveis em algum intervalo de 15 minutos de medição;

De forma geral, a ocupação média de automóveis é baixa e similar entre os dois turnos, apesar de um pouco maior no pico da tarde. Com relação ao transporte coletivo, os valores máximos de ocupação média identificados induz a crer que existe ociosidade no sistema, mesmo na hora de pico. As Figuras a seguir complementam os dados de ocupação média veicular no que diz respeito à variação deste parâmetro ao longo das horas de medição.

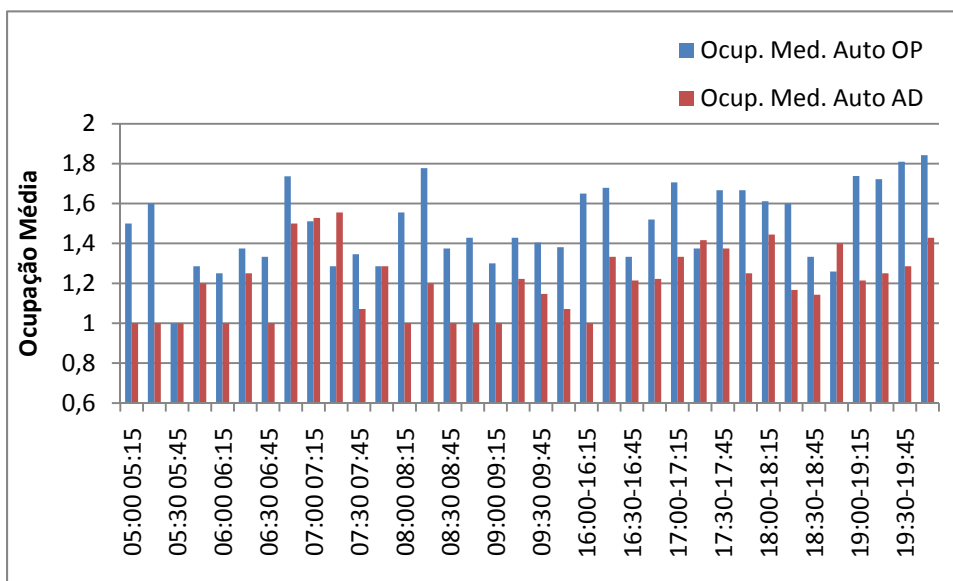


Figura 8 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Amazonas 1

Pela Figura 8 é possível perceber que, de forma geral, a ocupação média dos automóveis varia pouco, praticamente não chegando a duas pessoas por veículos. Além disso, para este ponto, as ocupações médias veiculares identificadas no sentido Centro >> Bairro (OP) foram maiores que no sentido Bairro >> Centro (AD).

Já a Figura 9 apresenta a variação da ocupação média encontradas nos ônibus do sistema de transporte coletivo. A análise do gráfico permite visualizar claramente os picos do sistema, no turno da manhã em direção ao centro (AD) e no turno da tarde No sentido contrário (OP).

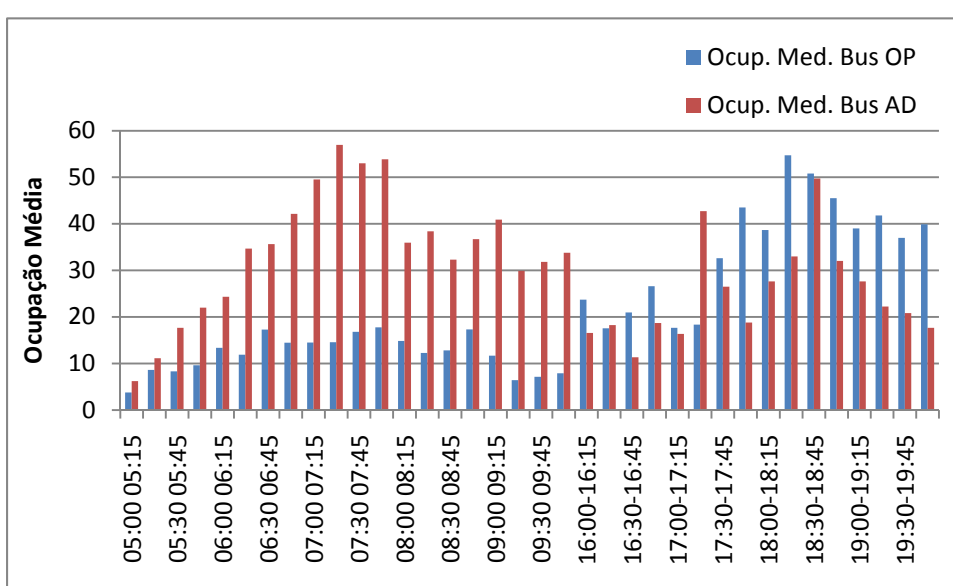


Figura 9 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Amazonas 1

A Figura 10 apresenta a variação da ocupação média identificada nas motos. É possível verificar que a mesma varia pouco, mas existe uma tendência de maiores ocupações médias nos picos, especialmente o da manhã.

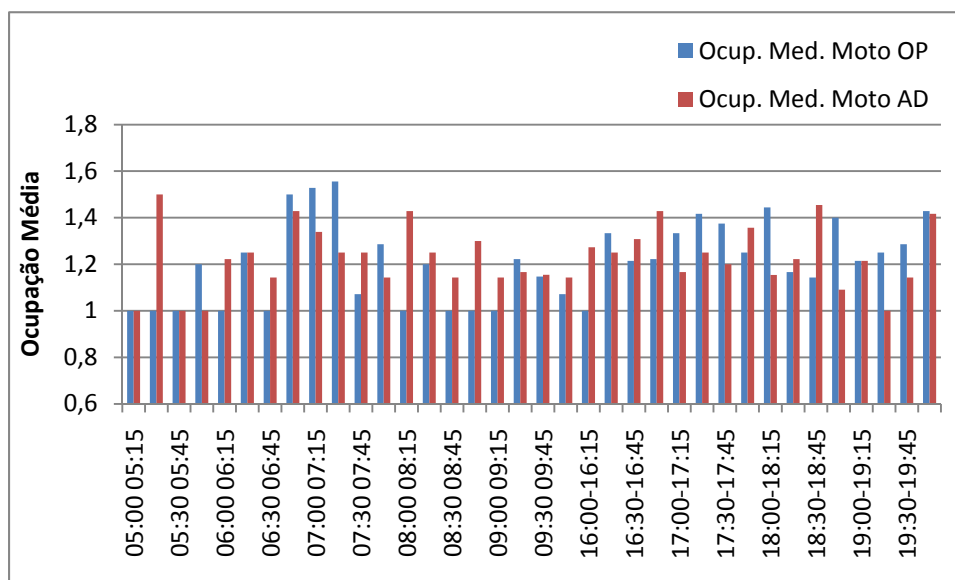


Figura 10 – Variação da ocupação média das motos no ponto Amazonas 1

B. Avenida Amazonas Ponto 2

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado na calçada adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro. A Figura a seguir apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local exato que o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado.



Figura 11 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Amazonas 2

Apesar deste ponto ser relativamente perto de uma linha férrea, onde além de trens comuns também passa o trem metropolitano do sistema de transporte de passageiros, a influência sobre os níveis de ruído do ponto foi pouco significativa e praticamente imperceptível durante as medições. Acredita-se que o fato se deve à diferença de nível do terreno, bem como a presença de um muro que funciona como uma barreira acústica.

A Tabela a seguir apresenta o resumo dos indicadores de ruído mensurados neste ponto.

Tabela 3 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Amazonas 2

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	43	55,7	67,9	68,8	76,8	72,8	80,5	92,1
Tarde	53,8	63,8	68,1	73,6	76,7	76,4	80,3	94,3

De forma geral, os níveis obtidos no turno da manhã foram menores do que no turno da tarde. Isto se deve ao fato que o início das medições (turno da manhã) foi bem cedo, onde o fluxo veicular é bem reduzido. Os níveis obtidos neste ponto também foram elevados, principalmente observando os parâmetros LeqMin e L10Min. As Figuras a seguir apresentam as variações no parâmetro Leq, tanto no turno da manhã quanto da tarde.

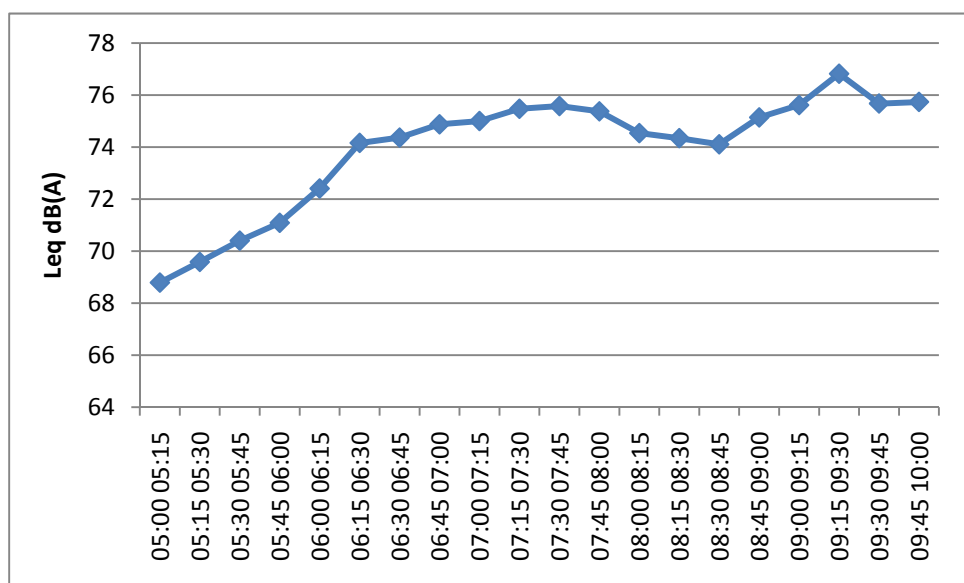


Figura 12 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Amazonas 2

A análise do gráfico anterior mostra um comportamento esperado, isto é, os níveis de ruído aumentam com o amanhecer, devido ao aumento do fluxo de tráfego. No entanto, ele já inicia elevado, explicado em parte, pela alta velocidade média do fluxo neste horário, conforme será visto posteriormente.

A Figura a seguir apresenta a variação do Leq no turno da tarde. Verifica-se que o comportamento é conforme esperado, isto é, com o início da noite, devido principalmente à diminuição do volume de tráfego, os níveis de ruído tendem a diminuir.

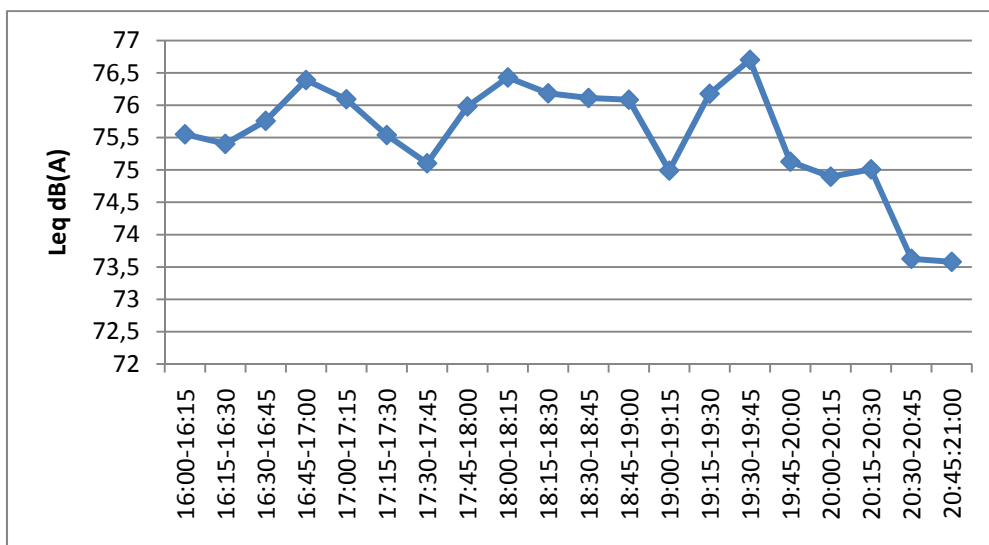


Figura 13 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Amazonas 2

A Figura a seguir apresenta a variação do fluxo de veículos no turno da manhã. É possível verificar o mesmo comportamento dos níveis de ruído neste mesmo turno, corroborando a relação direta entre fluxo veicular e níveis sonoros. Além disso, o fluxo é maior no sentido OP (Bairro >> Centro), conforme esperado.

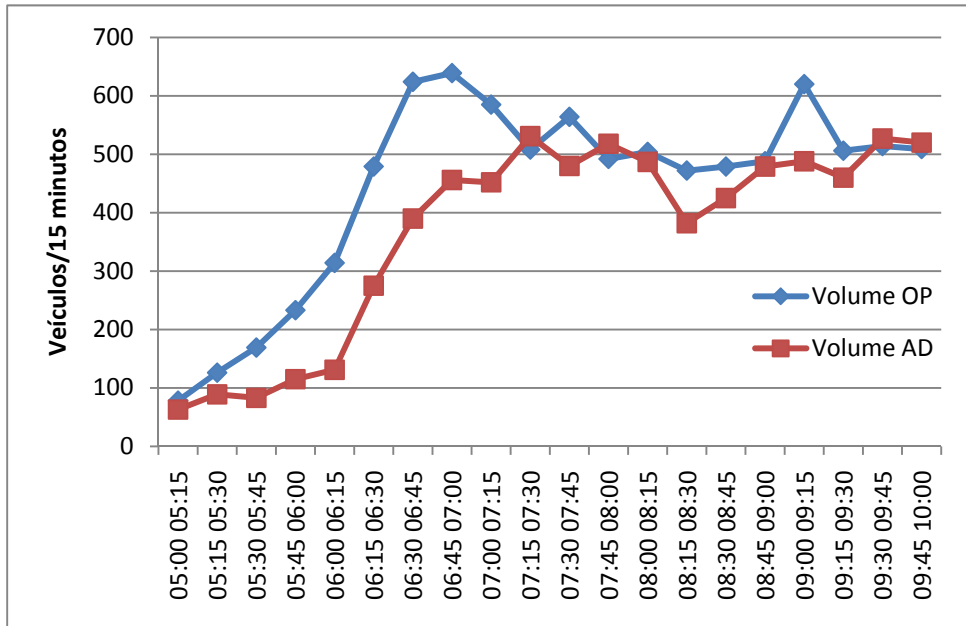


Figura 14 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Amazonas 2

De maneira similar, a Figura a seguir apresenta a variação do fluxo no turno da tarde, a qual também corrobora o comportamento dos níveis de ruído obtidos neste turno. Isto é, diminui com o início da noite, fim do pico do sistema. De maneira contrária, o fluxo neste turno é maior no sentido AD (Centro >> Bairro), caracterizando principalmente viagens do tipo trabalho >> casa.

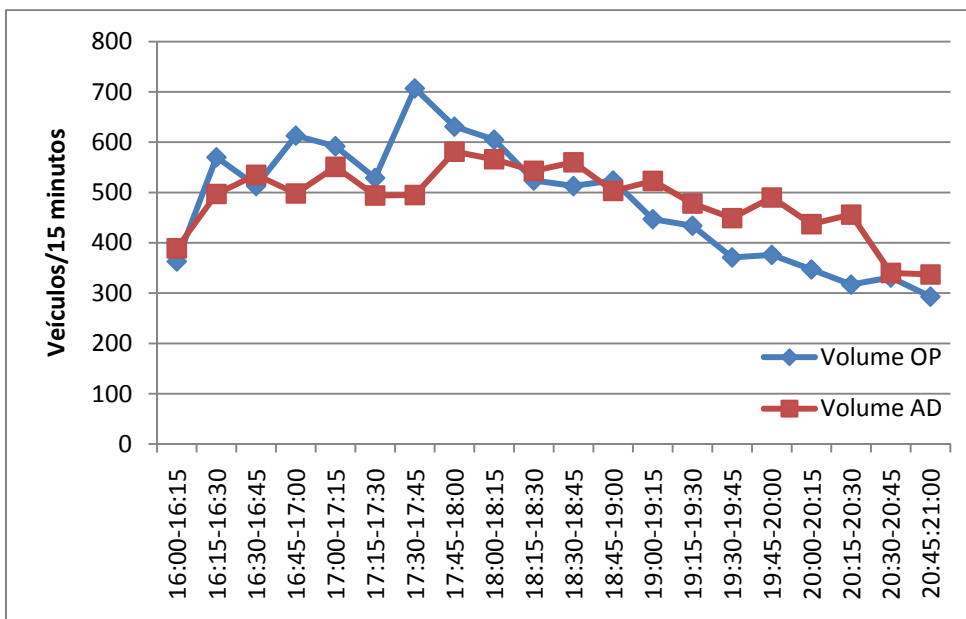


Figura 15 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Amazonas 2

A Figura a seguir apresenta a velocidade média veicular por sentido no turno da manhã. Verifica-se que a mesma é praticamente constante, com exceção de um fato isolado que ocorreu por volta de 8h da manhã. Houve uma retenção de tráfego à jusante, de forma que refletiu na seção onde estava posicionado o ponto de pesquisa. O que explica a velocidade ser praticamente constante, no resto do período de medição, é a presença de radares fixos para controle de velocidade nos dois sentidos da via a uma distância de cerca de 70 m.

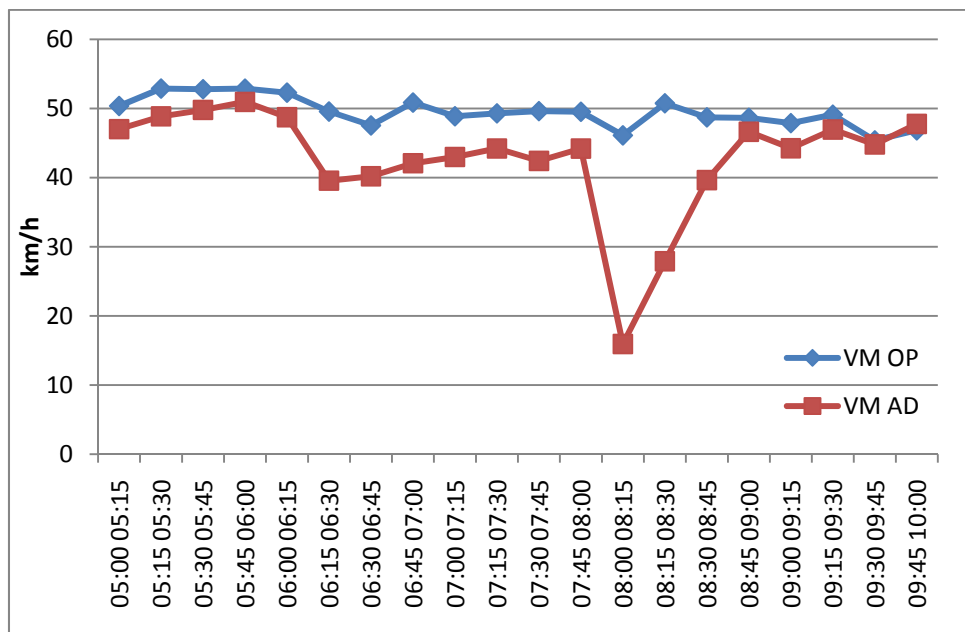


Figura 16 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Amazonas 2

A Figura a seguir apresenta a variação da velocidade média para o turno da tarde. É possível constatar que a mesma varia pouco, permanecendo entre os patamares de 40 e 50 km/h, por motivos já mencionados. As variações percebidas se devem exclusivamente às condições de tráfego no local como, por exemplo, pequenas retenções.

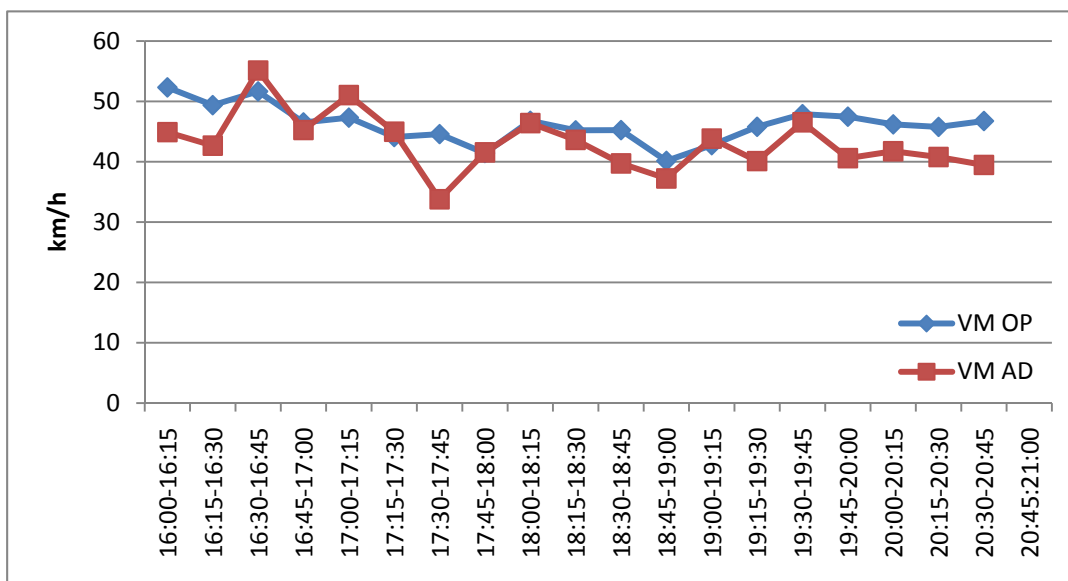


Figura 17 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Amazonas 2

No que diz respeito às ocupações médias dos veículos, a Tabela a seguir apresenta o resumo obtido para os dois turnos de pesquisa, onde os parâmetros mostrados são os mesmos elencados para o ponto anterior.

Tabela 4 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Amazonas 2

Ocupação Veicular (pessoas/veículo)									
Turno	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,11	1,47	2,06	1,00	1,18	1,55	2,75	25,08	79,09
Tarde	1,31	1,55	1,98	1,00	1,19	1,60	4,25	25,17	72,50

De maneira similar ao ponto 1 desta mesma avenida, de forma geral, a ocupação dos automóveis e moto pouco varia e possui valores absolutos baixos. Por outro lado, as ocupações dos ônibus, especialmente em horário de pico são elevadas e, inclusive, mais do que no ponto Amazonas 1. Isto é explicado pelo fato do outro ponto estar muito próximo da área central, onde os ônibus ainda possuem certa ociosidade. Já neste ponto, a distância da região central é maior, o que explica que os ônibus passam, em sua maioria, mais cheios, pois já passou por um número maior de Pontos de Embarque e Desembarque (PED).

Completando as análises de ocupação média, apresenta-se a seguir a variação deste índice durante os períodos de medição. De forma geral, conforme Figura 18 é possível inferir que as ocupações médias no sentido Bairro >> Centro foram

ligeiramente maiores que no sentido contrário. Também é possível verificar ocupações maiores no pico da manhã. Mas de forma geral, as ocupações médias são baixas, praticamente não chegando a 2 e com média de 1,5 passageiros / automóvel.

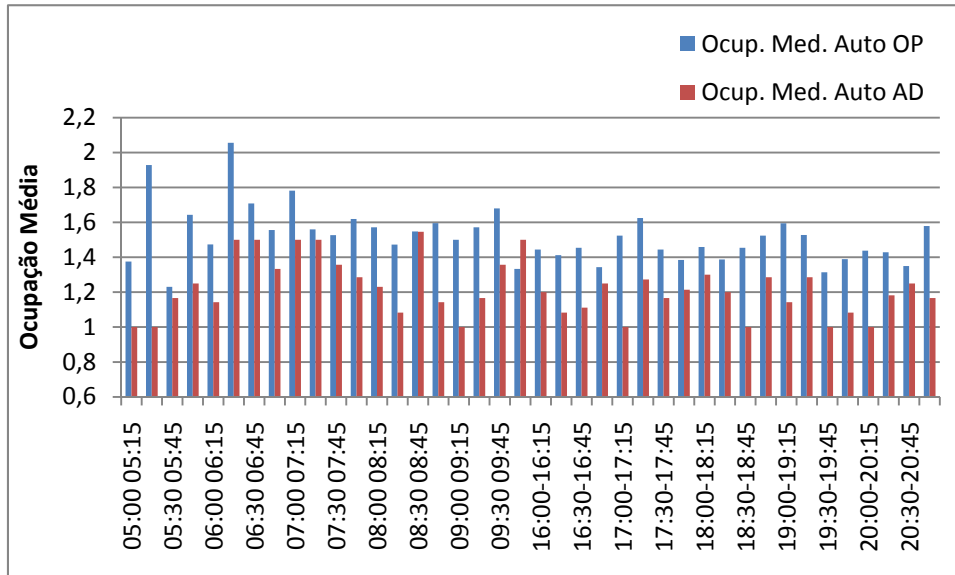


Figura 18 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Amazonas 2

Já a Figura 19 apresenta a variação da ocupação média dos ônibus, na qual é possível ver claramente os picos da manhã, em direção ao centro, e da tarde, em direção ao bairro. Também verifica-se que, aparentemente, o pico da manhã parece ser mais concentrado do que o da tarde.

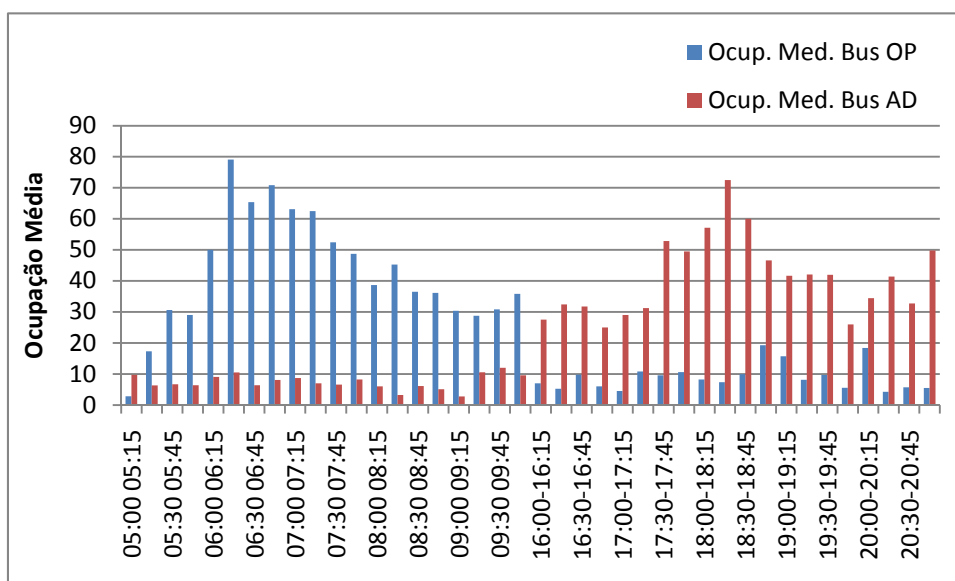


Figura 19 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Amazonas 2

A Figura 20 apresenta a ocupação média obtida para as motos durante o período de medição. É possível ver que, de forma geral, a mesma varia pouco, mas aparenta ser maior no pico da manhã e, principalmente, no sentido Bairro >> Centro.

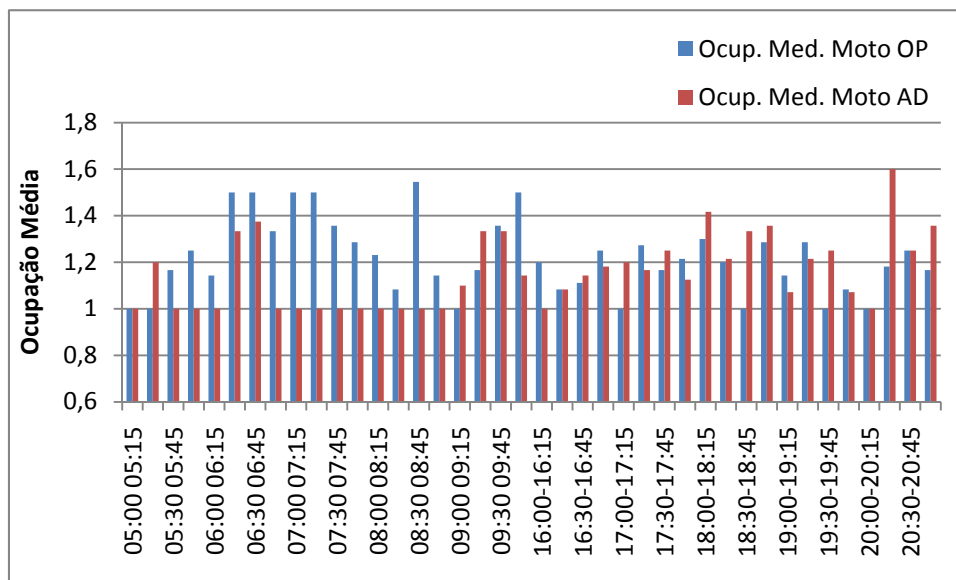


Figura 20 – Variação da ocupação média das motos no ponto Amazonas 2

C. Avenida Antônio Carlos Ponto 1

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro. Fato peculiar com relação a este ponto foi a pane ocorrida no medidor de nível de pressão sonora no final do turno da manhã, de forma que todos os dados deste turno foram perdidos. No entanto, conforme já mencionado, uma vez que o objetivo específico da tese não é a caracterização ou comparação dos níveis obtidos nos diversos pontos, as amostras perdidas não implicam em transtornos para os procedimentos propostos desta tese, bem como não causaram qualquer diminuição na precisão da calibração do modelo, conforme será visto em capítulo específico posteriormente. A Figura 21 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.



Figura 21 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Antônio Carlos 1

A Tabela 5 apresenta o resultado dos níveis de ruído para o ponto em questão, no turno da tarde. É possível inferir que os níveis presentes neste local são elevados, principalmente observando os parâmetros LeqMin e L10Min.

Tabela 5 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Antônio Carlos 1

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Tarde	51,4	56,4	64,8	74,9	76,7	77,5	79,1	96,5

Completando a análise de ruído, a Figura 22 apresenta o comportamento dos níveis sonoros no turno da tarde. Verifica-se que os mesmos diminuem à medida que se inicia o período noturno, explicados pela diminuição do fluxo veicular.

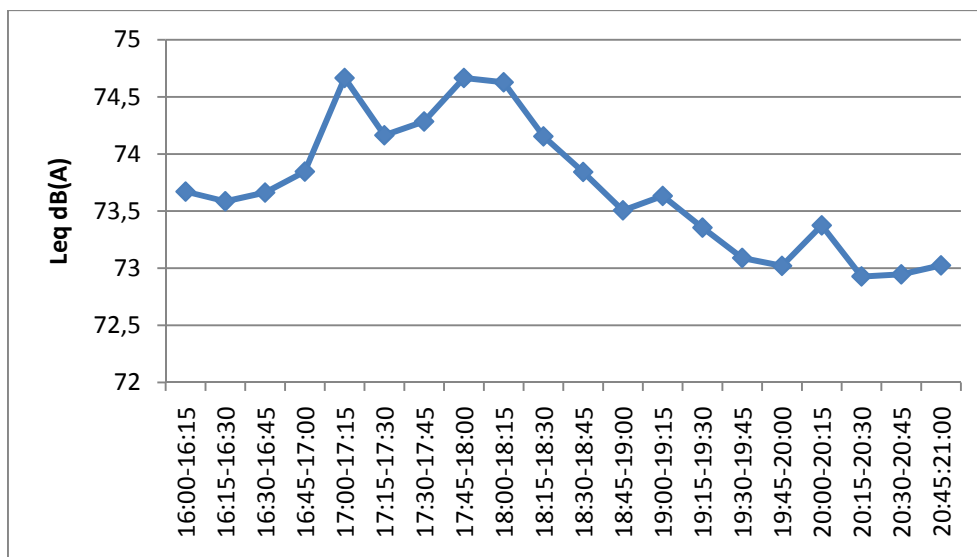


Figura 22 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Antônio Carlos 1

A Figura 23 apresenta a variação do fluxo veicular que, conforme esperado, é crescente com o início da manhã e maior no sentido Bairro >> Centro (OP). Com o fim do pico da manhã, existe uma tendência do fluxo veicular diminuir.

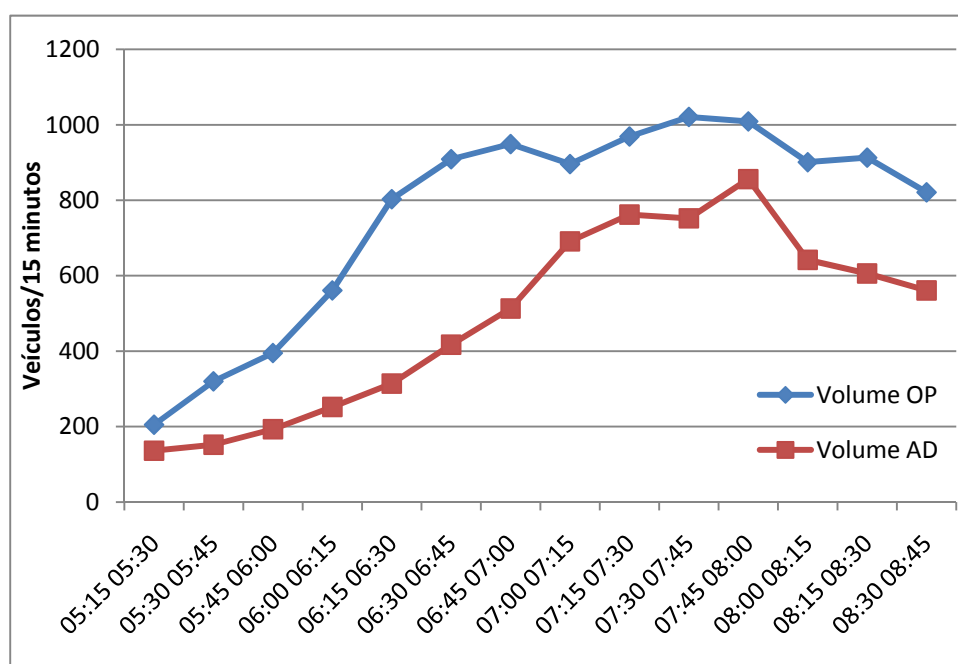


Figura 23 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Antônio Carlos 1

Já a Figura 24 apresenta os fluxos de veículo no turno da tarde, onde percebe-se que os mesmos diminuem com o início da noite e é maior no sentido Centro >> Bairro caracterizando, provavelmente, a volta pra casa.

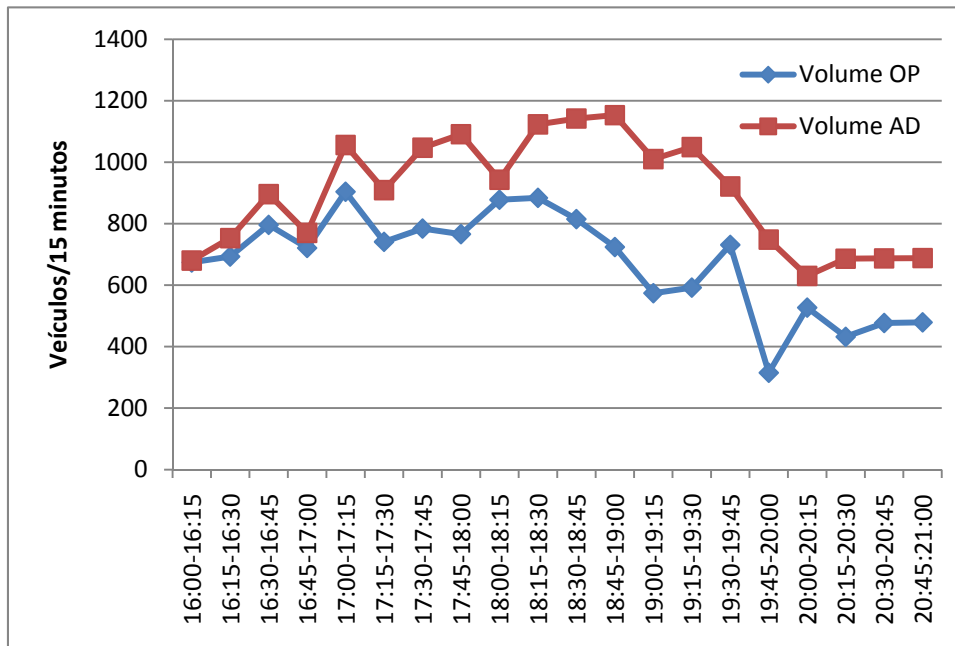


Figura 24 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Antônio Carlos 1

Já as Figuras a seguir apresentam as velocidades médias nos turnos da manhã e da tarde. Na Figura 25 verifica-se que a velocidade média tende a diminuir com o início da manhã e ainda que no sentido Centro >> Bairro esta é maior. O que explica este cenário é o fato que, no pico da manhã, o sentido Bairro >> Centro possui fluxos maiores.

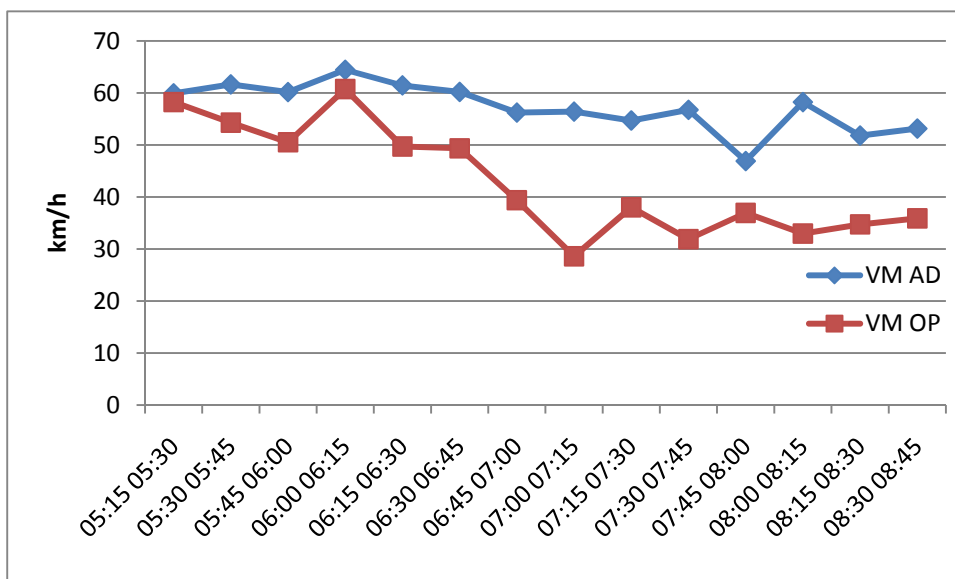


Figura 25 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Antônio Carlos 1

A Figura 26 mostra que a velocidade no pico da tarde foi praticamente constante durante o período de medição, apresentado valores altos para uma área totalmente urbanizada (da ordem de 55 km/h).

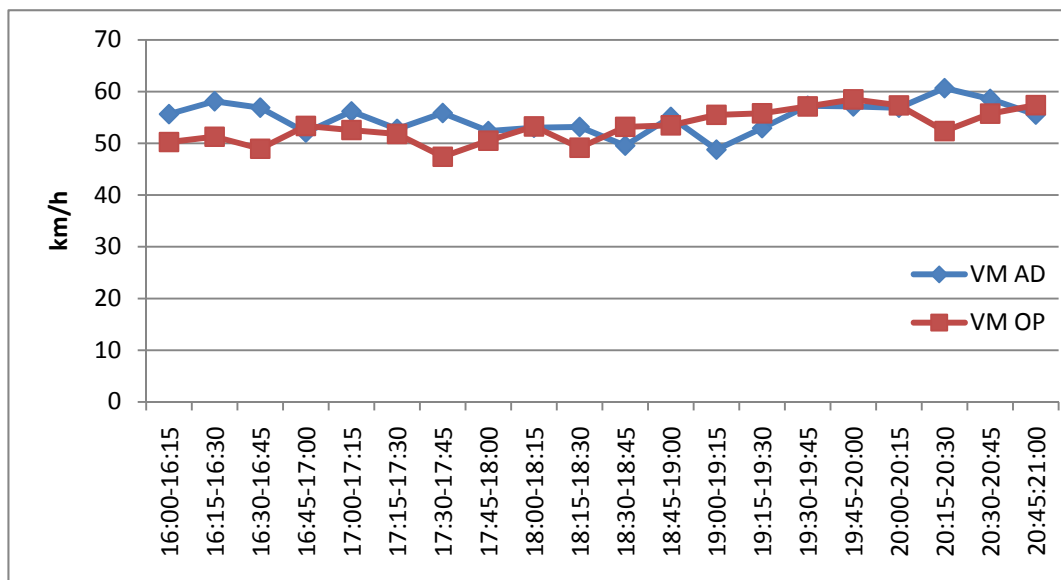


Figura 26 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Antônio Carlos 1

Com relação à ocupação média dos veículos, a análise da Tabela a seguir permite verificar comportamento similar aos outros pontos já mostrados, isto é, baixos valores de ocupação veicular para automóveis, baixa variação para a ocupação média das motos e valores mais elevados para as ocupações dos ônibus, especialmente nos picos (Max Bus).

Tabela 6 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Antônio Carlos 1

Ocupação Veicular (pessoas/veículo)									
Turno	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,12	1,48	2,11	1,07	1,25	1,58	3,89	31,27	68,86
Tarde	1,17	1,46	1,71	1,00	1,23	1,50	6,07	27,38	64,05

Completando a análise das ocupações médias verificadas para os veículos neste ponto apresenta-se, a seguir, a variação deste indicador para o período de amostragem nos dois turnos.

A Figura 27 mostra que, de forma geral, a ocupação média de automóveis é maior no turno da manhã e em direção ao centro da cidade. No restante do período de medição a mesma varia pouco em torno de 1,5 passageiro / automóvel.

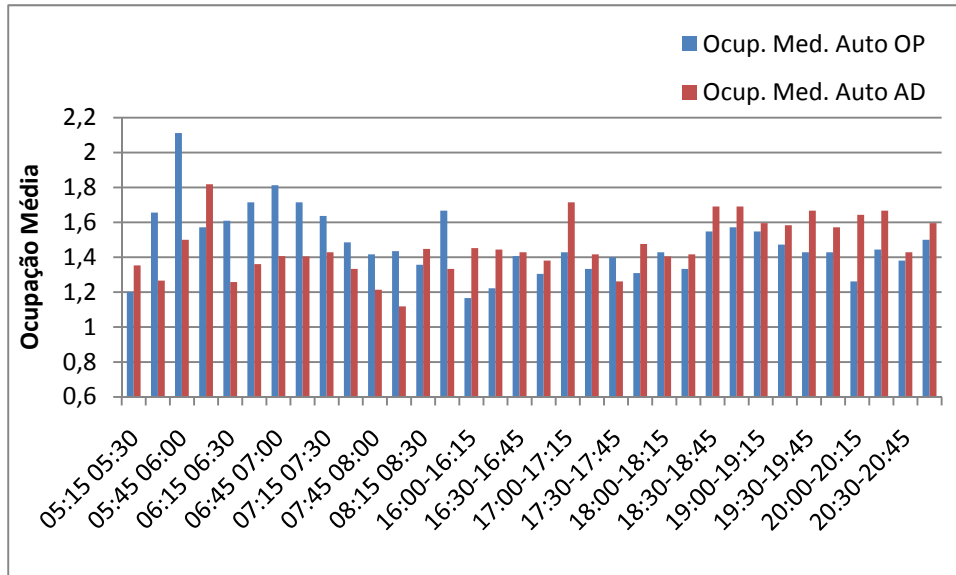


Figura 27 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Antônio Carlos 1

Já a análise da ocupação média dos ônibus, mostrada na Figura a seguir, mostra claramente os picos da manhã (azul: em direção ao centro) e da tarde (vermelho: em direção aos bairros) e em sentidos opostos, como esperado.

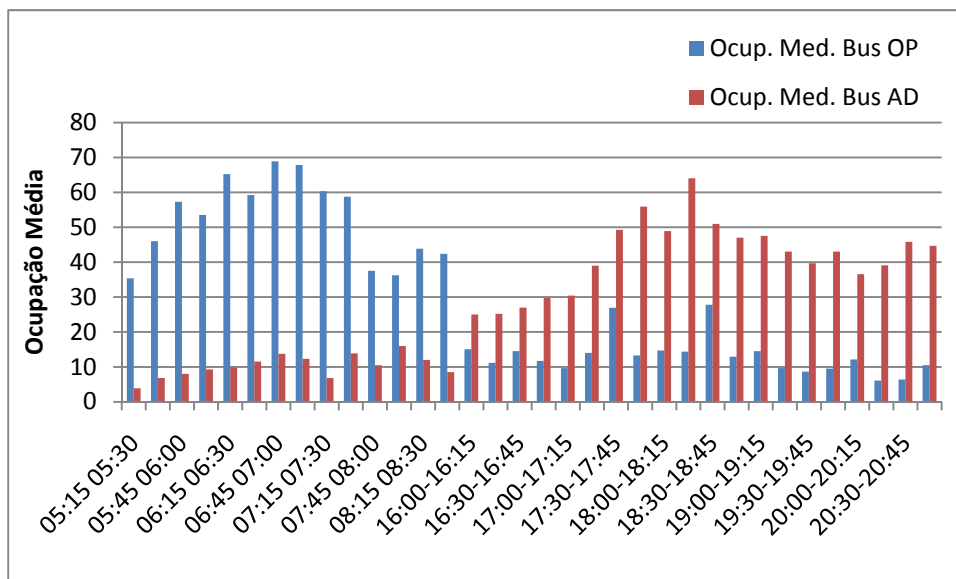


Figura 28 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Antônio Carlos 1

Com relação às motos, também se verifica maiores ocupações no turno da manhã e em direção ao centro da cidade, conforme pode ser visto na Figura 29.

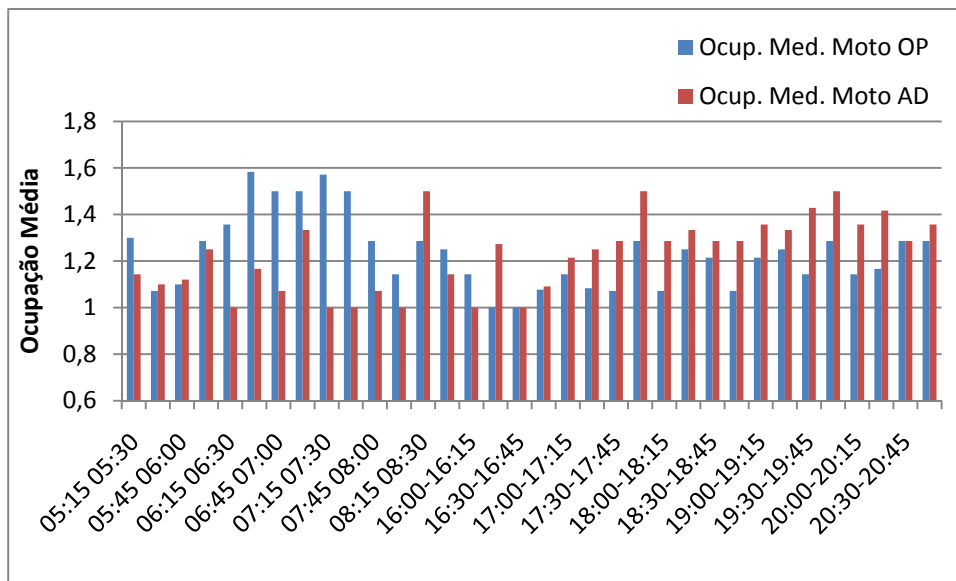


Figura 29 – Variação da ocupação média das motos no ponto Antônio Carlos 1

D. Avenida Antônio Carlos Ponto 2

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro. A Figura 21 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.

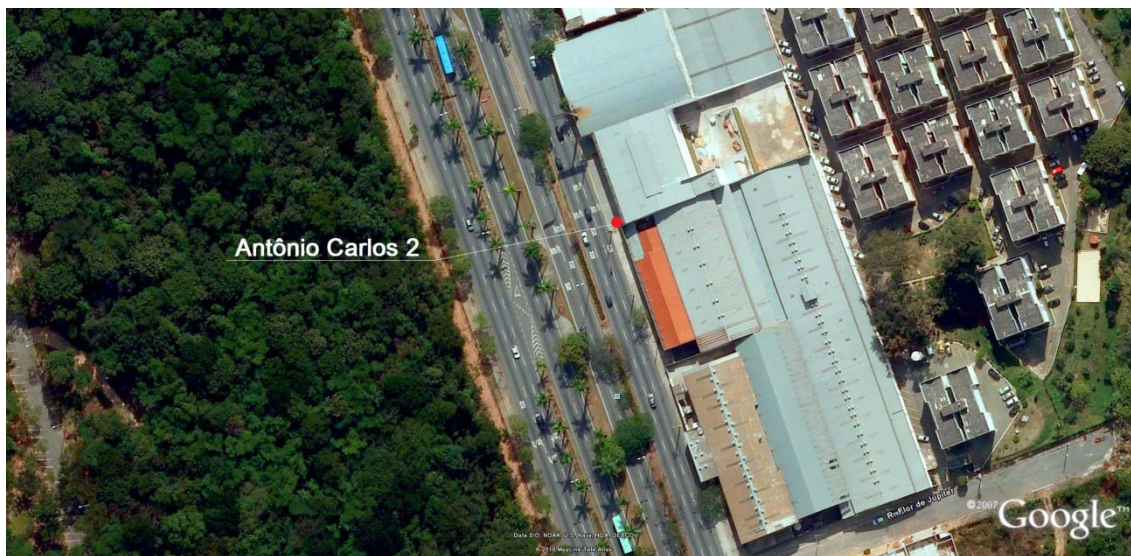


Figura 30 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Antônio Carlos 2

A Tabela a seguir apresenta o resumo dos indicadores de ruído mensurados neste ponto. É possível inferir que os níveis presentes neste local são elevados, principalmente observando os parâmetros LeqMin e L10Min.

Tabela 7 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Antônio Carlos 2

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	50,6	57	66	69,1	74,4	72	77	87,3
Tarde	51,7	58,7	63	71,6	72,3	73	74,7	86,5

Completando os dados de ruído, apresenta-se a seguir a variação do Leq, que não difere do comportamento dos pontos apresentados até então. Isto é, o Leq aumenta com o início da manhã devido ao aumento do número de veículos em circulação e, após a hora de pico, tende a diminuir.

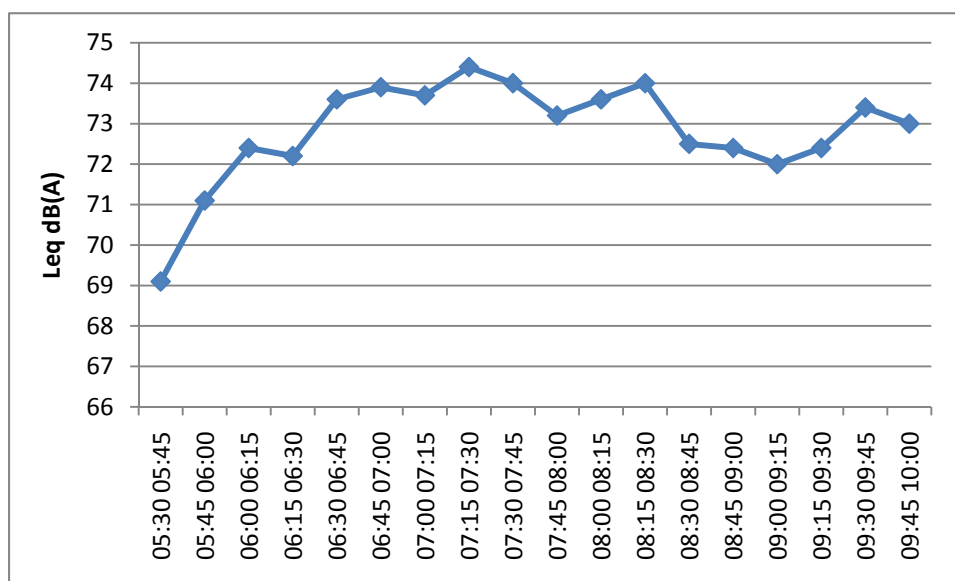


Figura 31 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Antônio Carlos 2

No pico da tarde neste ponto, ocorreram fatos peculiares em diversos intervalos que colaboraram para que a variação do Leq ocorresse de forma menos uniforme. Isto é, no pico da tarde ocorreram diversos momentos de fluxo forçado que fizeram com que a velocidade caísse, caracterizando momentos de congestionamento exatamente onde o medidor de nível de pressão sonora estava montado. Em outros momentos verificou-se ruídos de buzinas, ocasionados provavelmente pela irritação de alguns motoristas com a

situação momentânea do tráfego. A Figura 32 apresenta o Leq para os vários intervalos de 15 minutos mensurados no pico da tarde neste ponto.

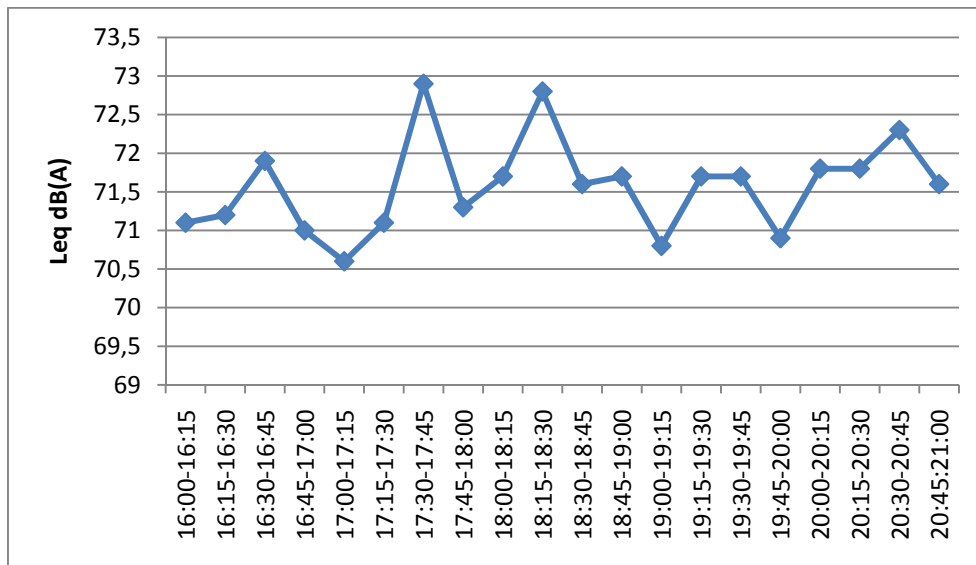


Figura 32 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Antônio Carlos 2

No que diz respeito a fluxo de veículos no turno da manhã, verifica-se no sentido bairro >> centro (maiores volumes) um pico por volta de 6:30h, enquanto que no sentido oposto isto ocorre por volta de 07:45h, conforme pode ser visto na Figura 33.

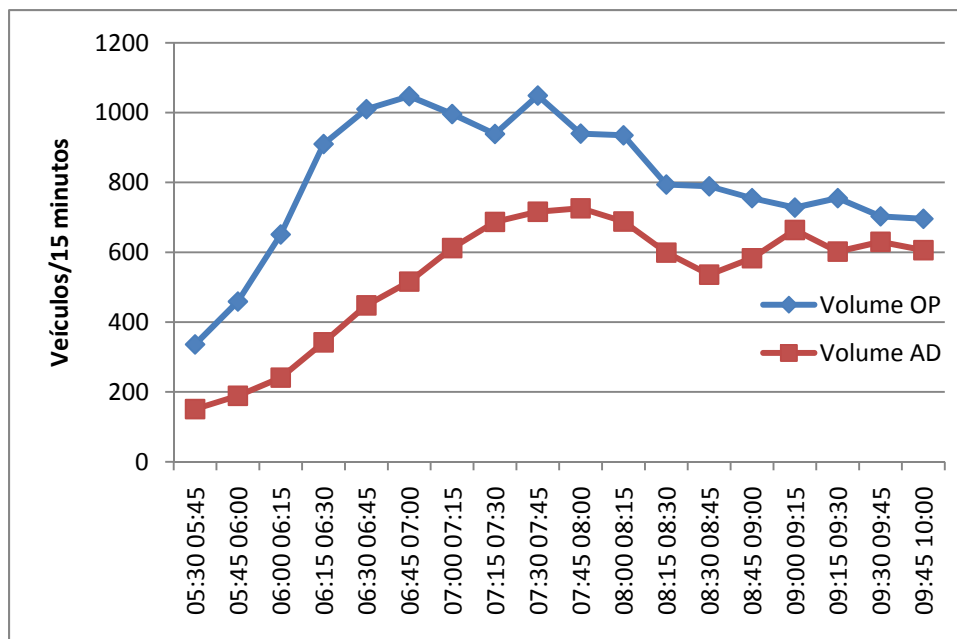


Figura 33 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Antônio Carlos 2

No turno da tarde os fluxos na direção centro >> bairro são maiores. No entanto, a caracterização de uma hora de pico é menos definida nos dois sentidos. Também é perceptível a diminuição do fluxo com o início da noite.

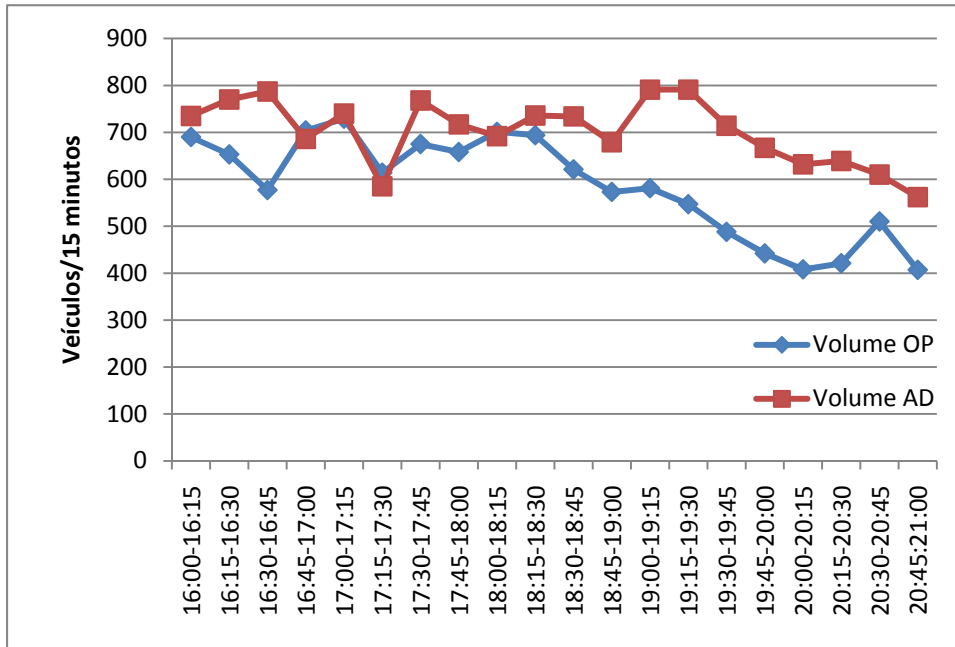


Figura 34 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Antônio Carlos 2

Já a análise das velocidades médias no turno da manhã mostra um comportamento esperado, conforme Figura 35. Isto é, no sentido de maior demanda, Bairro >> Centro (OP) a velocidade diminui com o início da manhã, explicado pelo aumento do fluxo de veículos. No sentido contrário, onde a demanda é menor neste horário, a velocidade é praticamente constante com uma tendência de diminuição a partir das 8:30h.

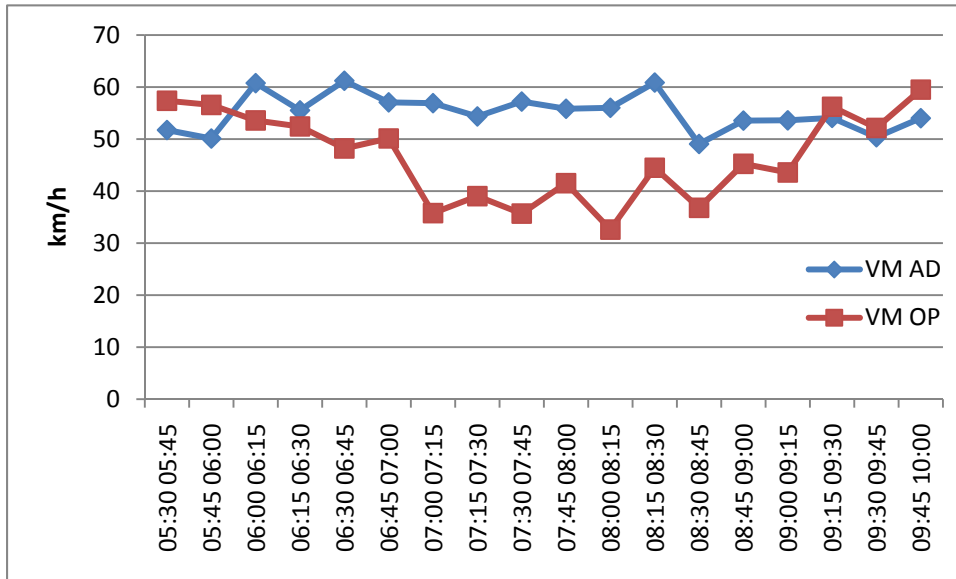


Figura 35 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Antônio Carlos 2

No turno da tarde a velocidade média é praticamente constante no sentido Bairro >> Centro (OP), enquanto que no sentido contrário a mesma cai significativamente no pico da tarde, devido à formação de fila (congestionamento) e volta a subir com o início da noite (diminuição do número de veículos), conforme pode ser visto na Figura 36.

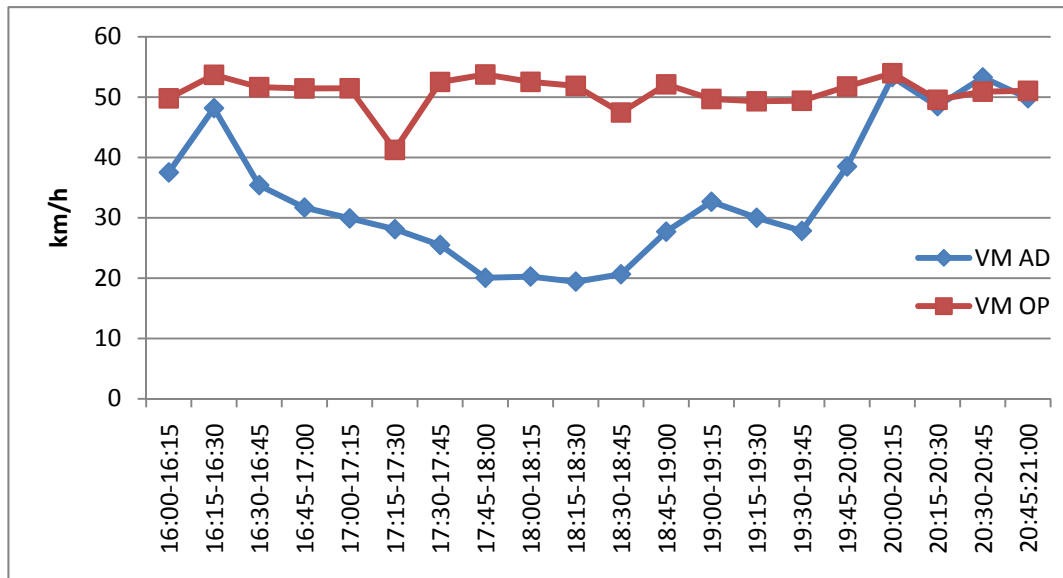


Figura 36 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Antônio Carlos 2

No que diz respeito à ocupação veicular média, a Tabela 8 apresenta um resumo deste indicador para o ponto em questão. É possível verificar um comportamento similar aos outros pontos (pouca variação da ocupação para automóveis e motos) e, de forma geral, verifica-se maiores ocupações no turno da tarde.

Tabela 8 – Dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Antônio Carlos 2

Ocupação Veicular (pessoas/veículo)									
Turno	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,18	1,38	1,64	1,00	1,22	1,71	4,50	23,68	59,26
Tarde	1,18	1,57	2,00	1,00	1,26	1,50	6,38	30,56	64,20

Complementando os dados de ocupação média veicular, as Figuras a seguir apresentam a variação deste parâmetro durante os períodos de mensuração nos turnos da manhã e da tarde.

A Figura 37 permite verificar que, neste ponto, há um aumento da ocupação média dos automóveis no turno da tarde (início da noite), chegando a ter uma ocupação média de 2 passageiros / veículo (ou próximo).

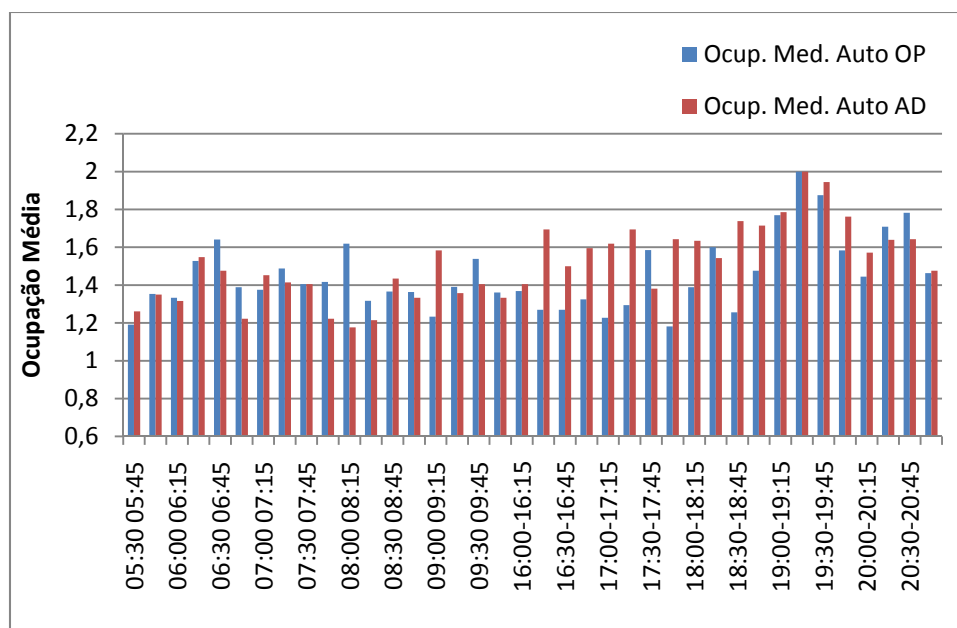


Figura 37 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Antônio Carlos 2

Já a Figura 38 apresenta a variação da ocupação média dos ônibus onde, assim como nos pontos anteriores, é possível verificar bem definidos os picos em direção ao centro (manhã, cor azul) e ao bairro (tarde, cor vermelha).

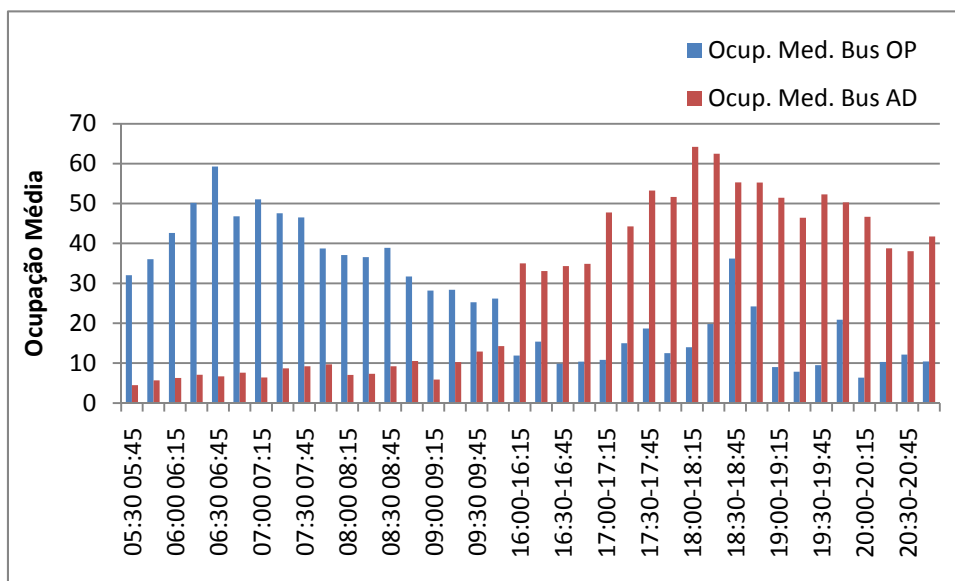


Figura 38 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Antônio Carlos 2

Com relação à ocupação média das motos, verifica-se uma tendência de maiores ocupações no turno da manhã e em direção ao centro (OP), com poucas variações no restante do período. Com relação a valores absolutos, não há grandes variações com relação aos outros pontos, conforme pode ser visto na Figura 39.

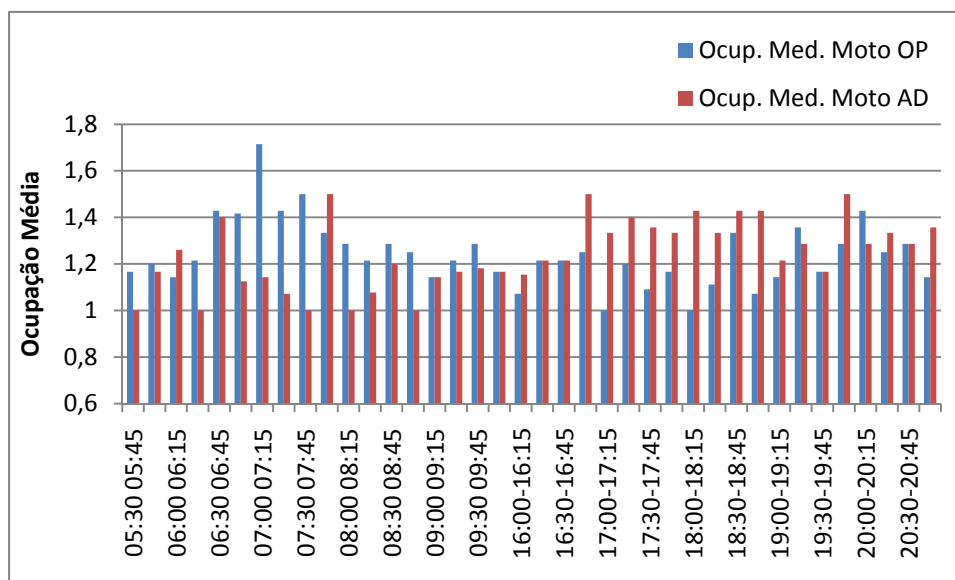


Figura 39 – Variação da ocupação média das motos no ponto Antônio Carlos 2

E. Avenida Pedro II Ponto 1

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Bairro >> Centro. A Figura 40 apresenta uma imagem aérea

do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.

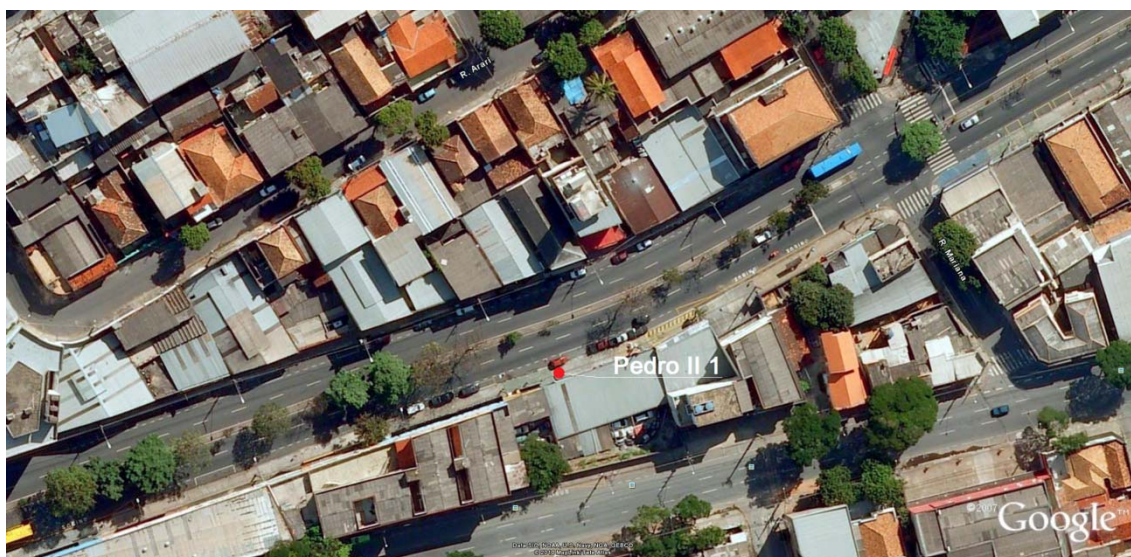


Figura 40 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Pedro II 1

A Tabela a seguir apresenta o resumo dos indicadores de ruído mensurados neste ponto. É possível inferir que, também neste ponto, os níveis presentes são elevados, principalmente observando os parâmetros LeqMin e L10Min.

Tabela 9 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Pedro II 1

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	41,4	46,4	66,1	67,3	73,9	71	77	84,8
Tarde	47,6	55,7	63	69	73,4	72	76,6	85,4

Completando os dados de ruído, apresenta-se a seguir a variação do Leq no turno da manhã, que é similar ao comportamento dos pontos apresentados até então. Isto é, o Leq aumenta com o início da manhã devido ao aumento do número de veículos em circulação e, após a hora de pico, tende a diminuir.

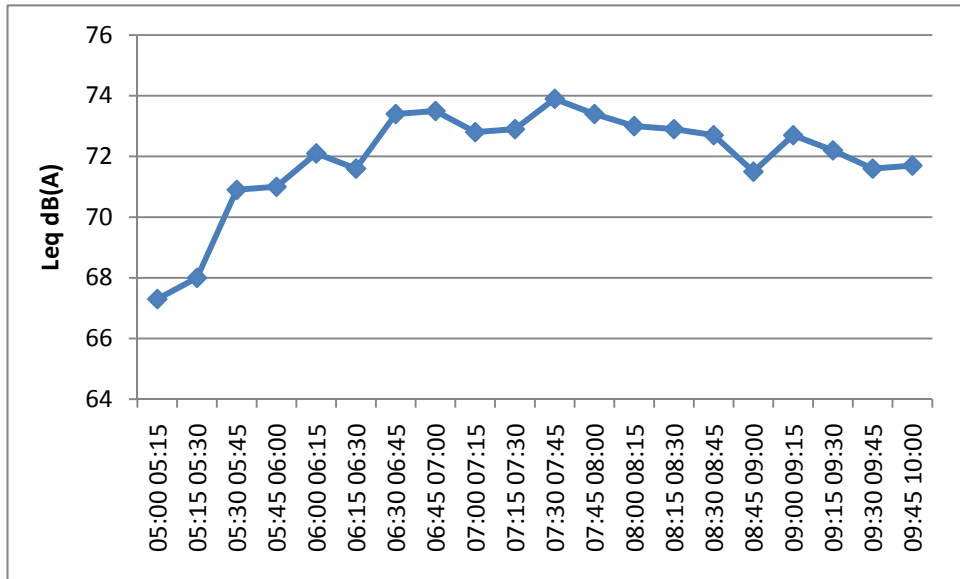


Figura 41 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Pedro II 1

O mesmo ocorre no turno da tarde. O ruído aumenta até um certo valor e depois tende a diminuir, caracterizando o aumento e a diminuição do fluxo de veículos, conforme pode ser visto na Figura 42.

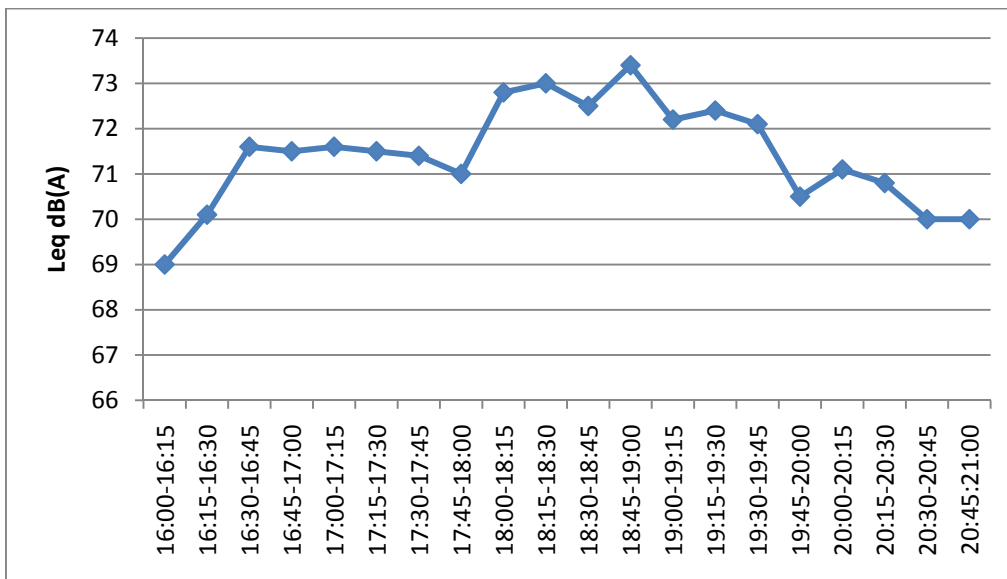


Figura 42 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Pedro II 1

No que diz respeito ao fluxo de veículos, verifica-se que o mesmo cresce com o início da manhã e mantém-se constante durante um período para então começar a diminuir. Isto pode caracterizar a capacidade máxima de vazão do segmento em questão.

A Figura 43 apresenta a variação do fluxo em intervalos de 15 minutos para os dois sentidos no turno da manhã. Verifica-se que o sentido AD (Bairro >> Centro) é significativamente maior, conforme esperado.

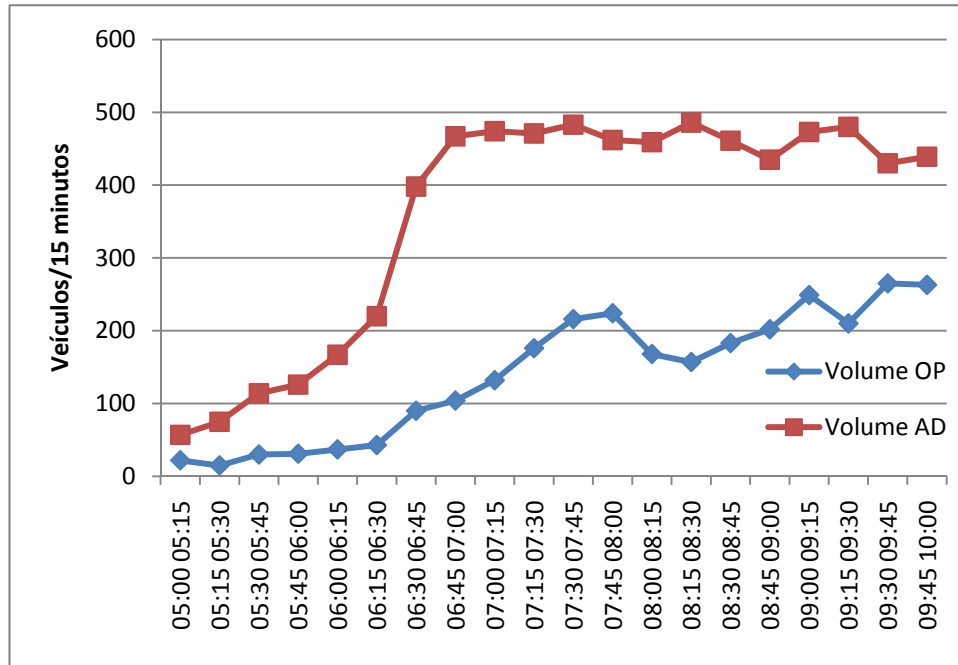


Figura 43 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Pedro II 1

No pico da tarde, não é caracterizado um pico neste ponto. Acredita-se que o fato ocorre devido à peculiaridades do sistema viário da cidade. Isto é, as pessoas que estiverem voltando do centro da cidade em direção aos bairros e forem utilizar esta avenida acessarão a mesma um pouco mais adiante, através do elevador Castelo Branco. Este pressuposto também ajuda a explicar o maior fluxo, mesmo no turno da tarde, ser no sentido Bairro >> Centro, conforme pode ser visto na Figura 44.

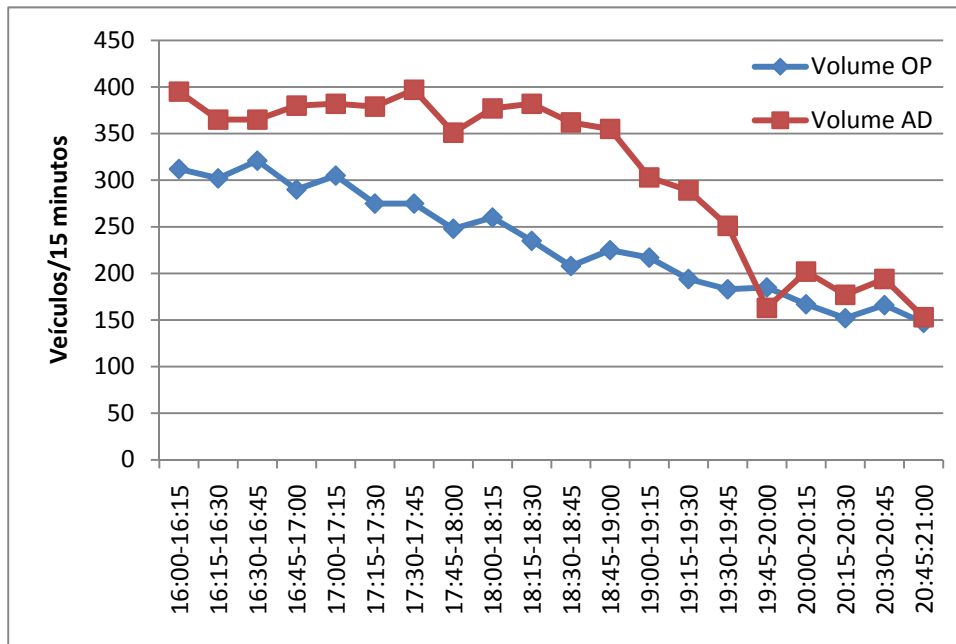


Figura 44 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Pedro II 1

Com relação à velocidade média no ponto no turno da manhã, a mesma apresenta comportamento esperado. Isto é, diminui com o início da manhã devido ao aumento do fluxo de veículos, e tende a crescer novamente após passado o pico (Sentido Bairro >> Centro).

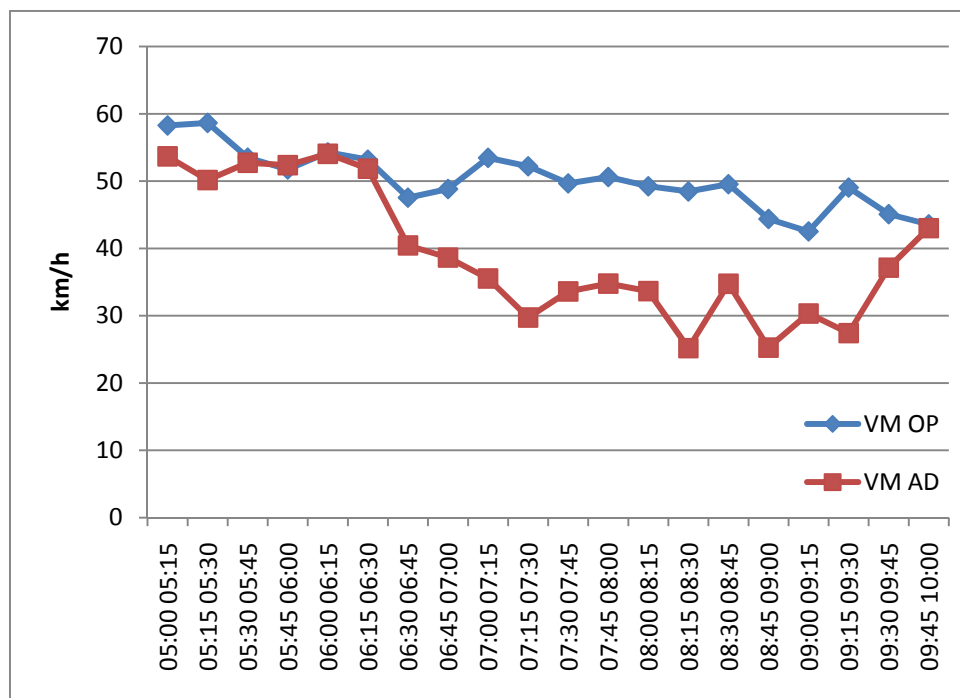


Figura 45 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Pedro II 1

No turno da tarde, a velocidade, de forma geral, tende a crescer com o início da noite, caracterizando a diminuição do número de veículos em circulação, conforme pode ser visto na Figura 46.

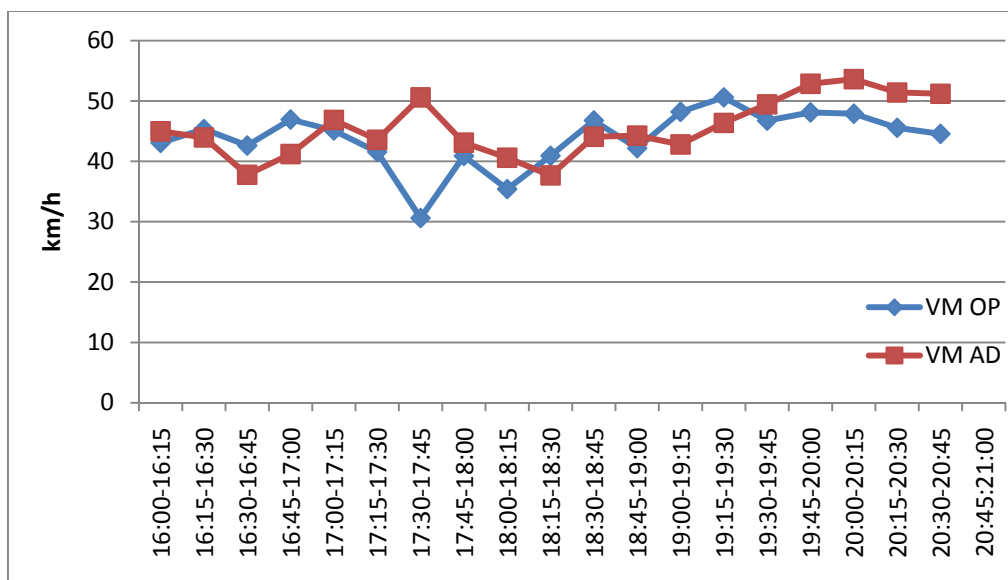


Figura 46 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Pedro II 1

Com relação à ocupação veicular média, a Tabela 10 apresenta um resumo deste indicador para o ponto em questão. É possível verificar um comportamento similar aos outros pontos (pouca variação da ocupação para automóveis e motos) e, de forma geral, maiores ocupações no turno da tarde.

Tabela 10 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Pedro II 1

Turno	Ocupação Veicular (pessoas/veículo)								
	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Motc	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,00	1,38	1,66	1,00	1,14	1,42	1,75	20,57	50,22
Tarde	1,25	1,49	1,79	1,00	1,20	1,50	5,00	24,62	58,33

Completando os dados de ocupação média dos automóveis, a Figura 47 apresenta a variação deste indicador para os dois sentidos de fluxo e nos dois turnos. É possível verificar uma tendência a se ter maiores ocupações em direção ao centro no turno da manhã e em sentido contrário no turno da tarde.

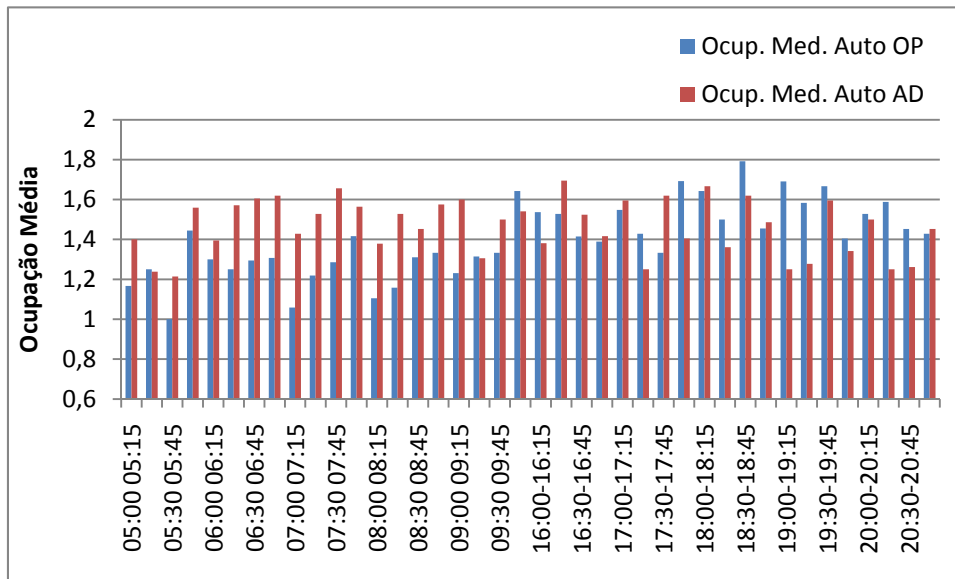


Figura 47 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Pedro II 1

Com relação a variação da ocupação média dos ônibus, verifica-se o comportamento típico de caracterização dos turons da manhã e da tarde, com picos de ocupação em sentidos contrários, em função do turno, conforme pode ser visto na Figura 48.

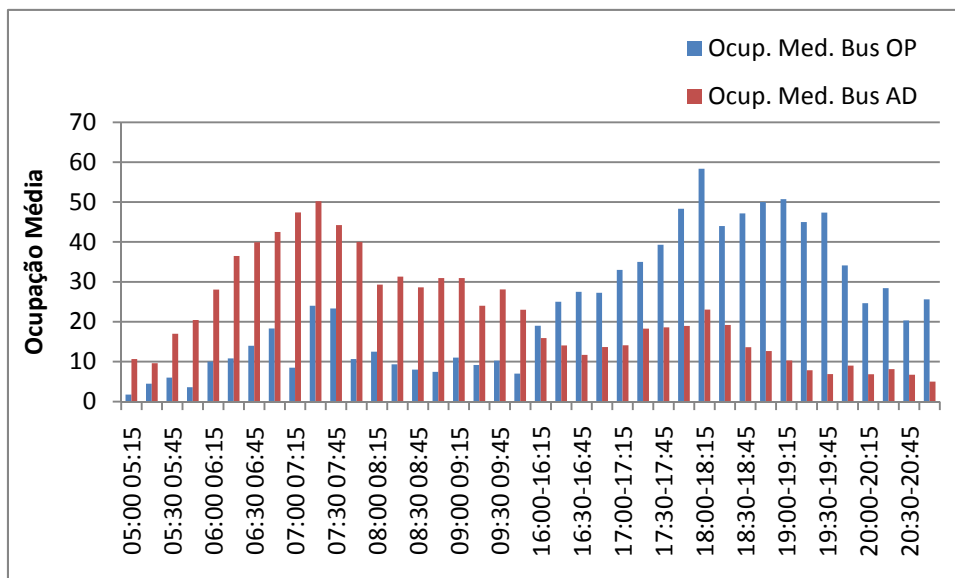


Figura 48 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Pedro II 1

Já as ocupações médias das motos, apresentadas na Figura 49, tendem a ser maiores nos picos da manhã e da tarde mas, de forma geral, com poucas variações.

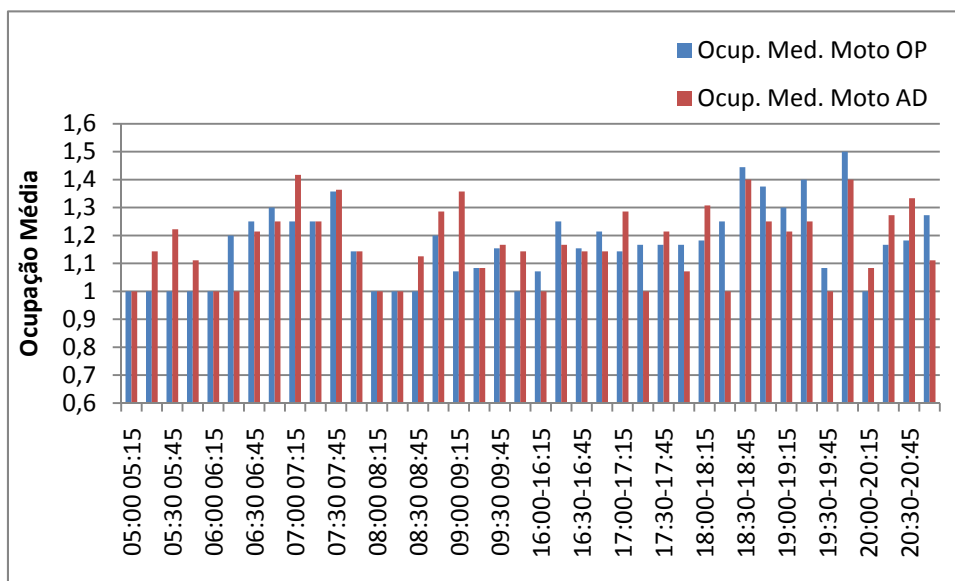


Figura 49 – Variação da ocupação média das motos no ponto Pedro II 1

F. Avenida Pedro II Ponto 2

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro. A Figura 50 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.

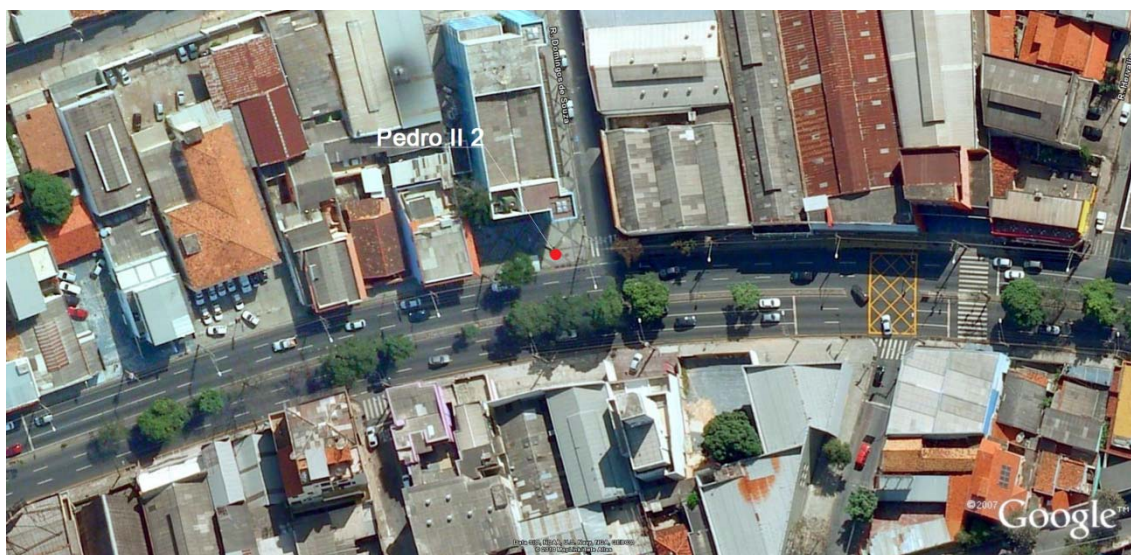


Figura 50 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Pedro II 2

A Tabela 11 apresenta o resumo dos indicadores de ruído para o ponto Pedro II 2. De forma geral os valores obtidos no turno da tarde são mais elevados, conforme já

explicado em função do baixo fluxo veicular existente no início das medições no turno da manhã.

Tabela 11 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Pedro II 2

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	46,6	56,3	71	69,9	77,4	72	80	102,1
Tarde	56,4	66	72,4	73,2	76,6	76	78	86,6

A Figura 51 apresenta a variação do Leq no turno da manhã, onde percebe-se o mesmo comportamento que os outros pontos, um aumento gradativo com o início da manhã, devido ao aumento do fluxo de veículos, conforme será visto em Figuras posteriores.

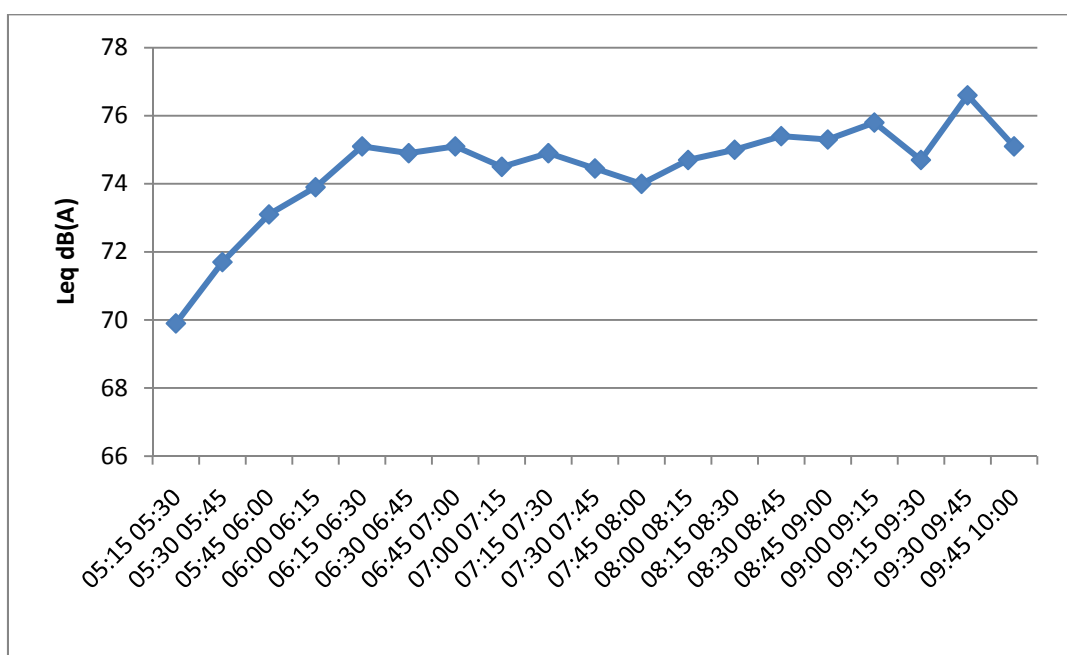


Figura 51 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Pedro II 2

No turno da tarde não acontece diferente. O ruído atinge um pico e depois diminui gradativamente, acompanhando a diminuição do fluxo de veículos, conforme pode ser visto na Figura 52.

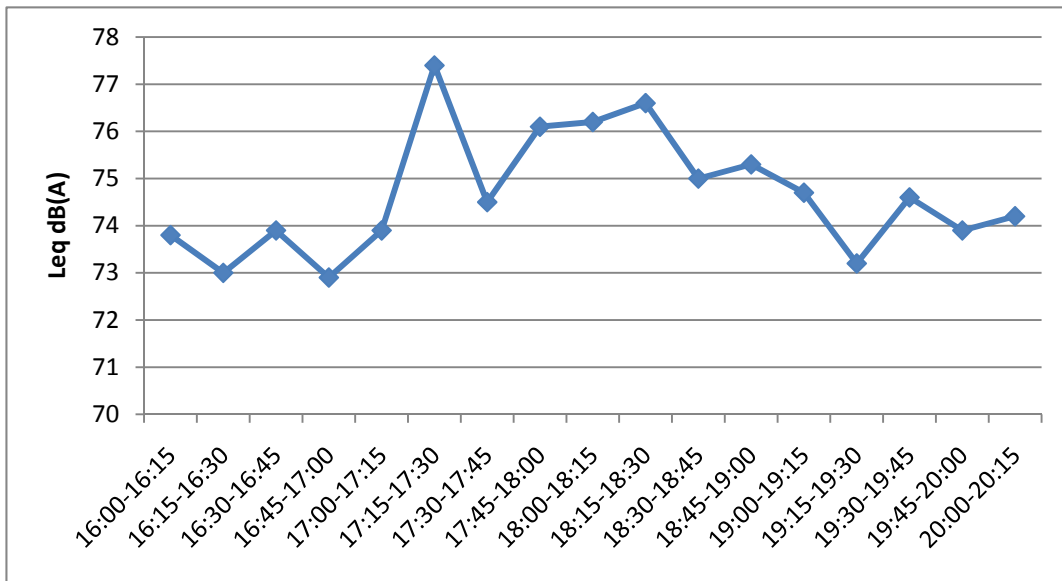


Figura 52 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Pedro II 2

A Figura 53 apresenta a variação do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto em questão. Percebe-se que o sentido Bairro >> Centro (OP) é mais demandado, conforme esperado, tendo um pico por volta de 06:15h. Já a Figura 54 apresenta o turno da tarde, onde a maior demanda ocorre no sentido Centro >> Bairro (AD), caracterizando, provavelmente, viagens de volta do trabalho.

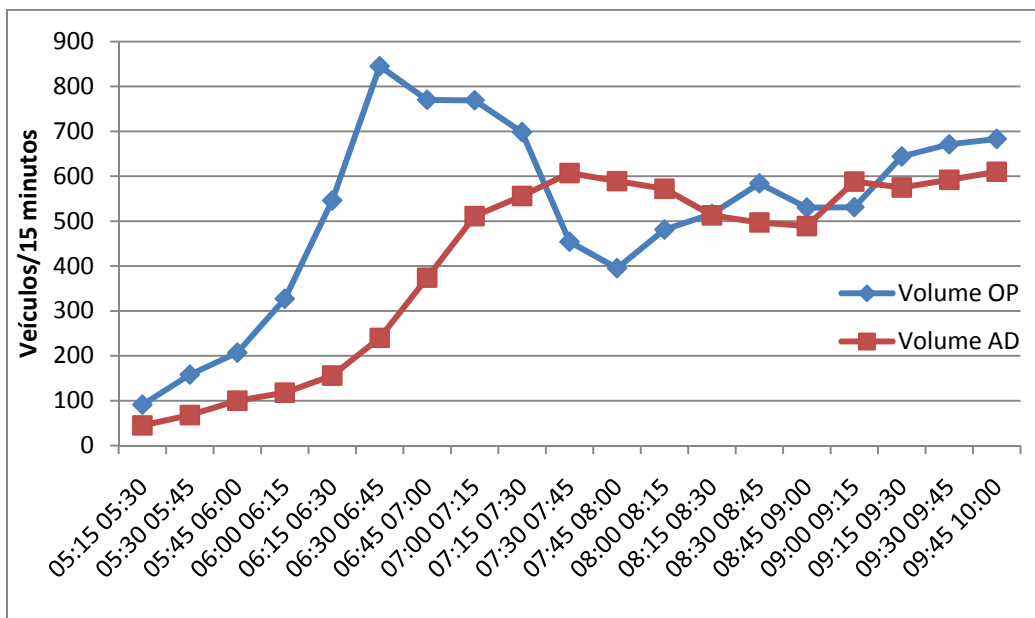


Figura 53 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Pedro II 2

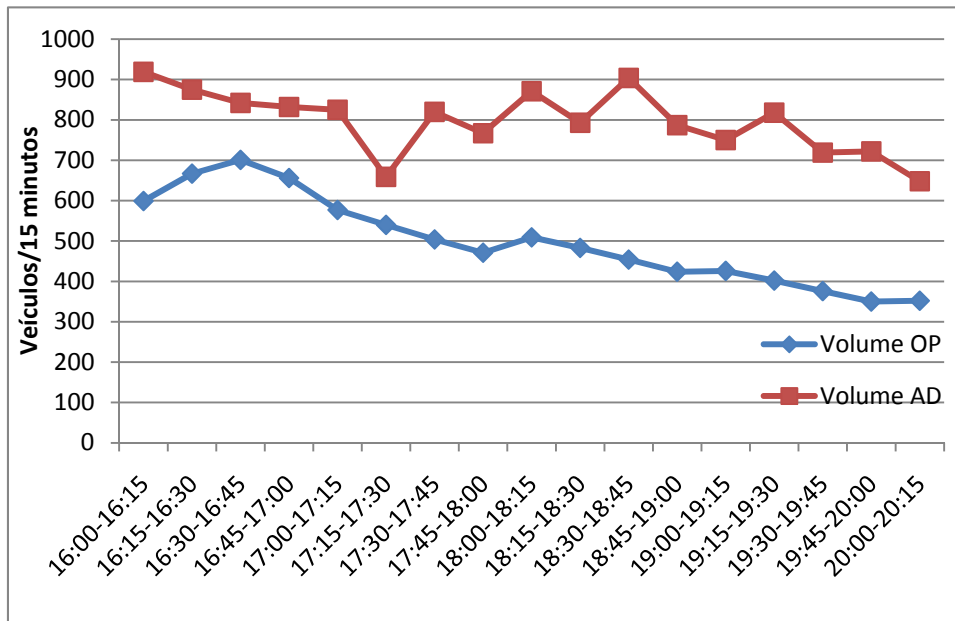


Figura 54 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Pedro II 2

Com relação à velocidade média verifica-se a mesma relação, isto é, ela é maior nos períodos onde o fluxo é menor. No turno da manhã (Figura 55) a velocidade diminui com o decorrer da manhã e no turno da tarde (Figura 56) aumenta com o início da noite.

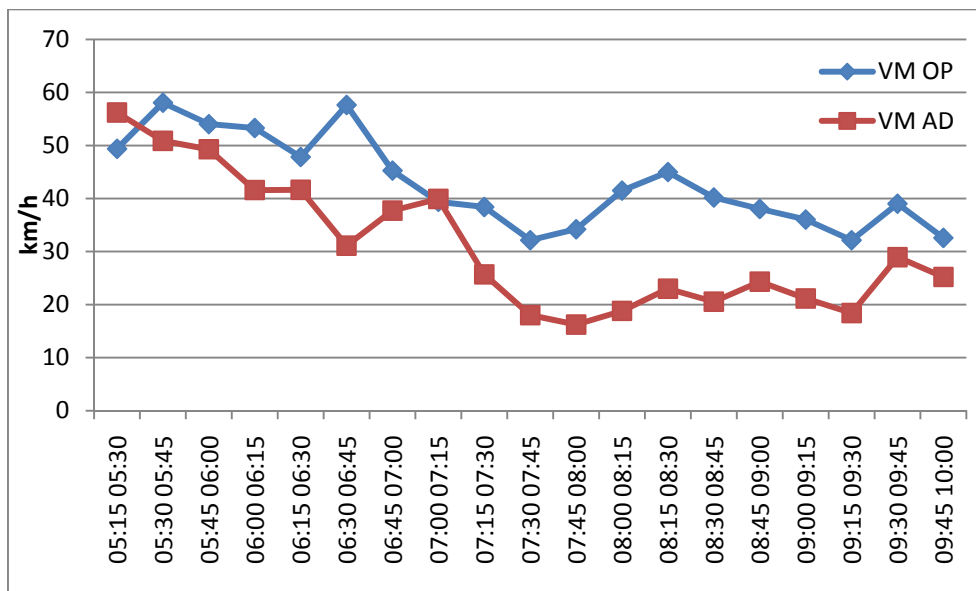


Figura 55 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Pedro II 2

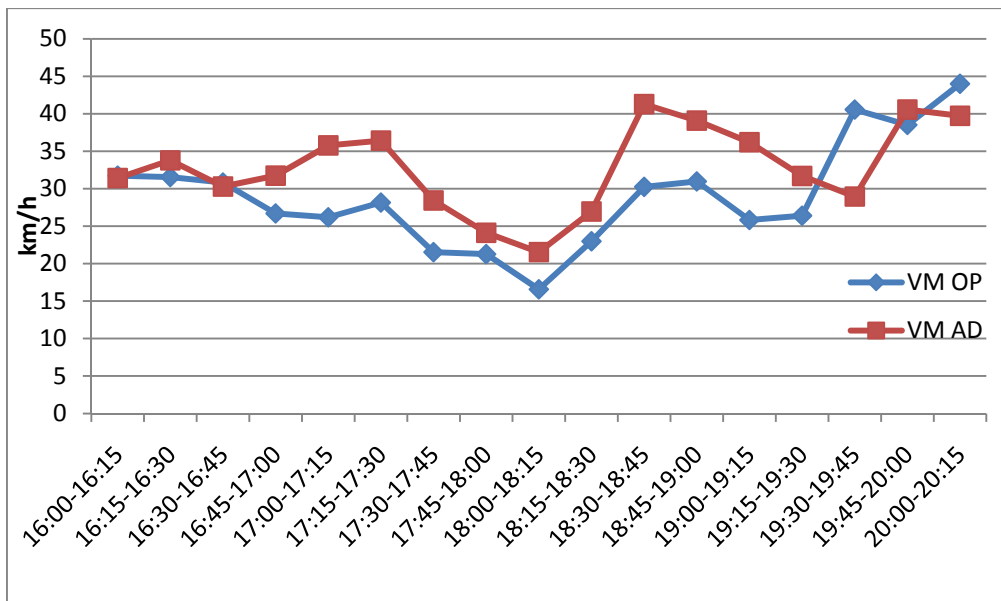


Figura 56 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Pedro II 2

No que diz respeito à ocupação veicular média, a Tabela 12 apresenta um resumo deste indicador para o ponto em questão. É possível verificar um comportamento similar aos outros pontos (pouca variação da ocupação para automóveis e motos) e, de forma geral, verifica-se maiores ocupações no turno da tarde. No entanto, as ocupações médias de automóveis são, de forma geral, menores.

Tabela 12 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Pedro II 2

Ocupação Veicular (pessoas/veículo)									
Turno	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,08	1,37	1,69	1,00	1,18	1,50	6,40	25,05	56,43
Tarde	1,00	1,39	1,61	1,00	1,14	1,50	7,58	34,63	77,14

Ainda com relação à ocupação média, a Figura 57 apresenta a variação deste indicador para os dois sentidos deste ponto. Verifica-se que não há grandes variações e que existe uma tendência de se verificar maiores ocupações no turno da manhã em direção ao centro (OP).

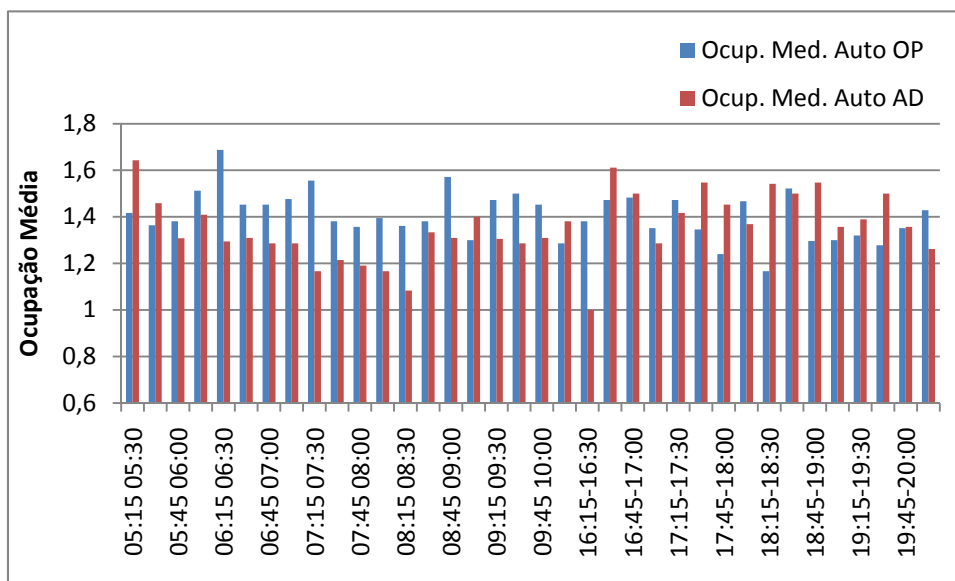


Figura 57 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Pedro II 2

Com relação à ocupação média verificada nos ônibus, o comportamento é similar aos outros pontos, com distinção bem clara dos picos por sentido nos turnos da manhã e da tarde, conforme pode ser visto na Figura 58. De forma geral, as ocupações médias do turno da tarde foram maiores do que as identificadas para o turno da manhã.

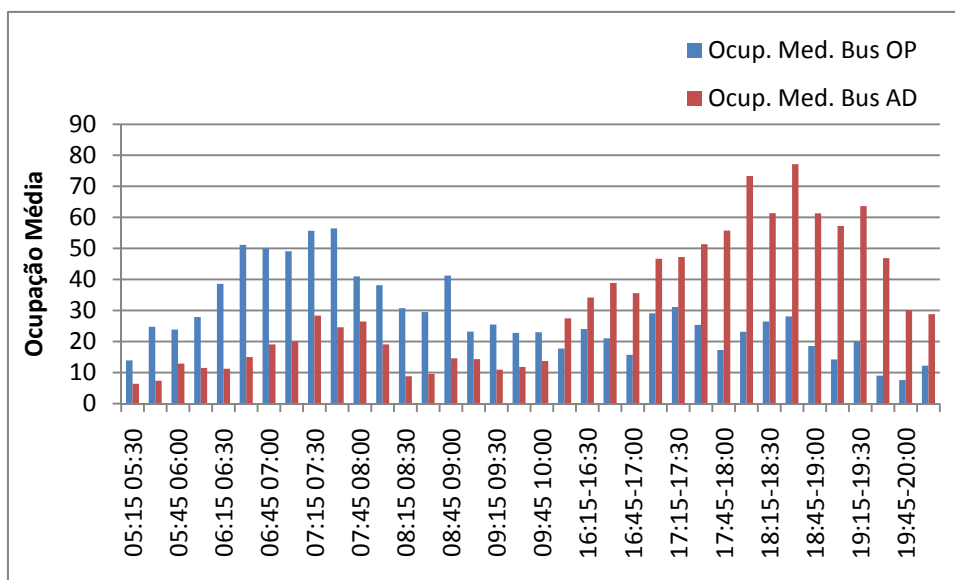


Figura 58 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Pedro II 2

Já com relação à ocupação média verificada nas motos, apresentada na Figura 59, verifica-se que a mesma apresentou valores mínimos em diversos intervalos nos dois sentidos, chegando ao máximo a, em média, 1,5 passageiro / moto.

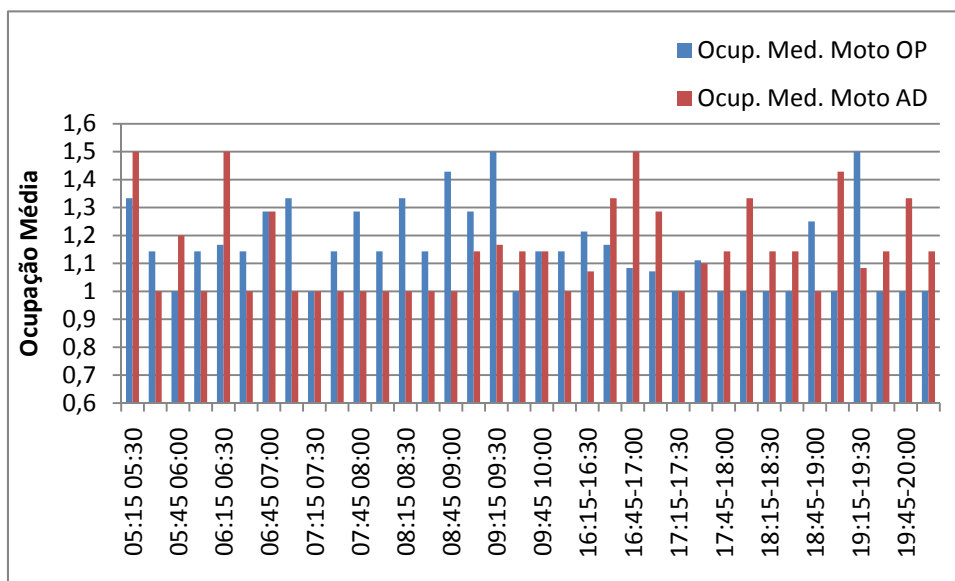


Figura 59 – Variação da ocupação média das motos no ponto Pedro II 2

G. Avenida Pedro II Ponto 3

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro. A Figura 60 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.

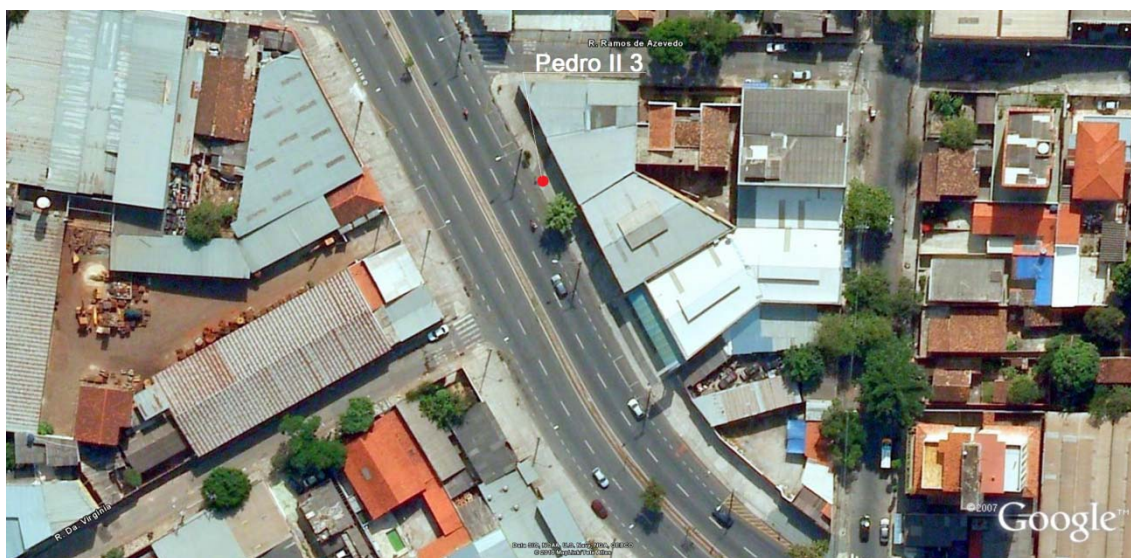


Figura 60 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Pedro II 3

Na Tabela 13 apresenta-se o resumo dos dados de ruído para este ponto, onde percebe-se comportamento similar aos outros pontos. No turno da manhã o LeqMin e o

L10Min não foram, de forma geral, muito elevados. Outro ponto que merece destaque é que neste ponto o maior Leq identificado foi no turno da manhã e com significativa diferença com relação ao máximo mensurando à tarde.

Tabela 13 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Pedro II 3

Níveis Sonoros dB(A)							
Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
40,2	46	66	64,7	76,4	67,2	76,1	103,8
49,4	57	64	68	71,8	71	74,1	85,4

A Figura 61 e a Figura 62 apresentam a variação do Leq nos turnos da manhã e da tarde, respectivamente. Na primeira é nítido o aumento do ruído com o início da manhã enquanto na outra verifica-se um decréscimo do ruído com o início da noite, similarmemente aos outros pontos apresentados.

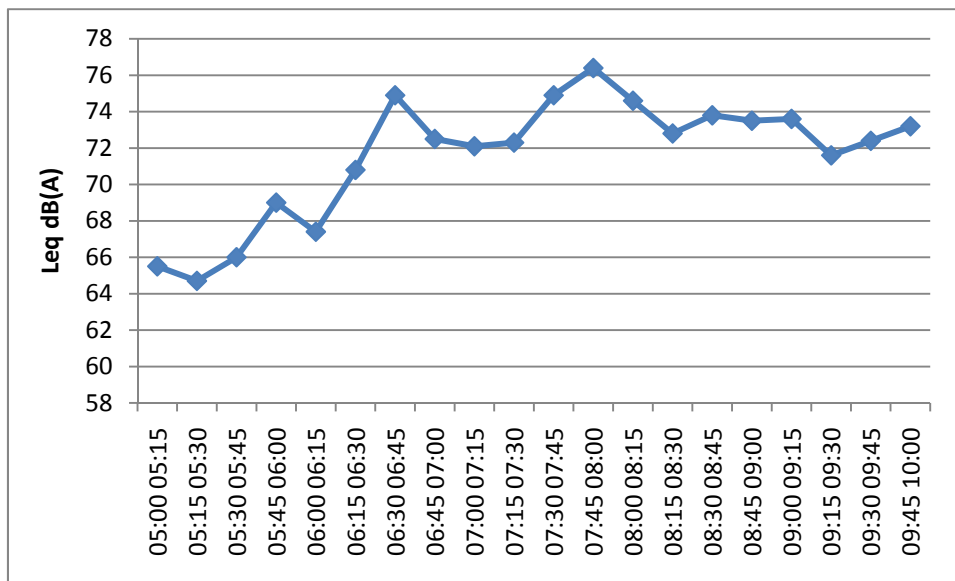


Figura 61 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Pedro II 3

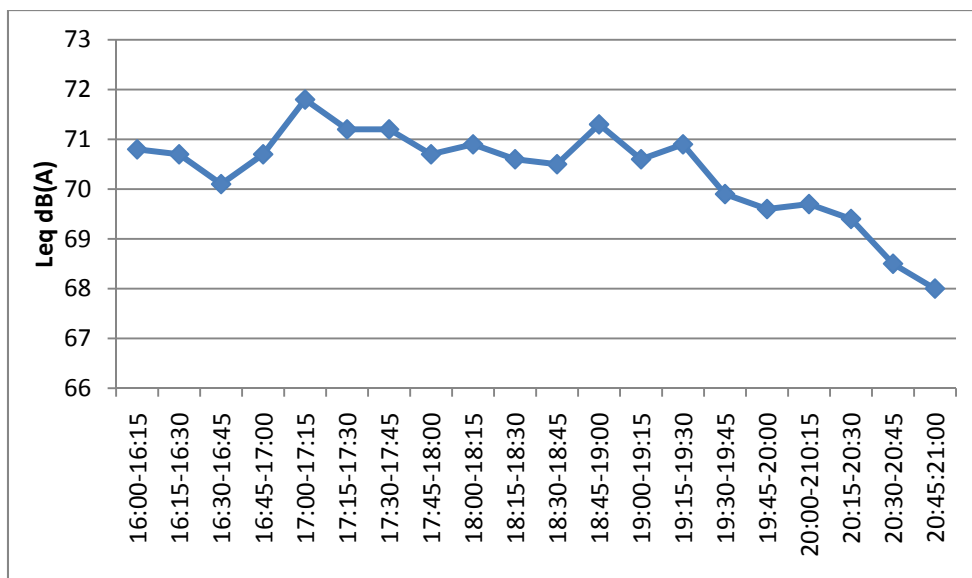


Figura 62 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Pedro II 3

No que se refere a fluxo veicular a Figura 63 apresenta a variação deste indicador no turno da manhã, enquanto a Figura 64 o faz para o turno da tarde. Na primeira o fluxo no sentido Bairro >> Centro (OP) aumenta significativamente com o início da manhã, caracterizando um pico para, então, começar a diminuir.

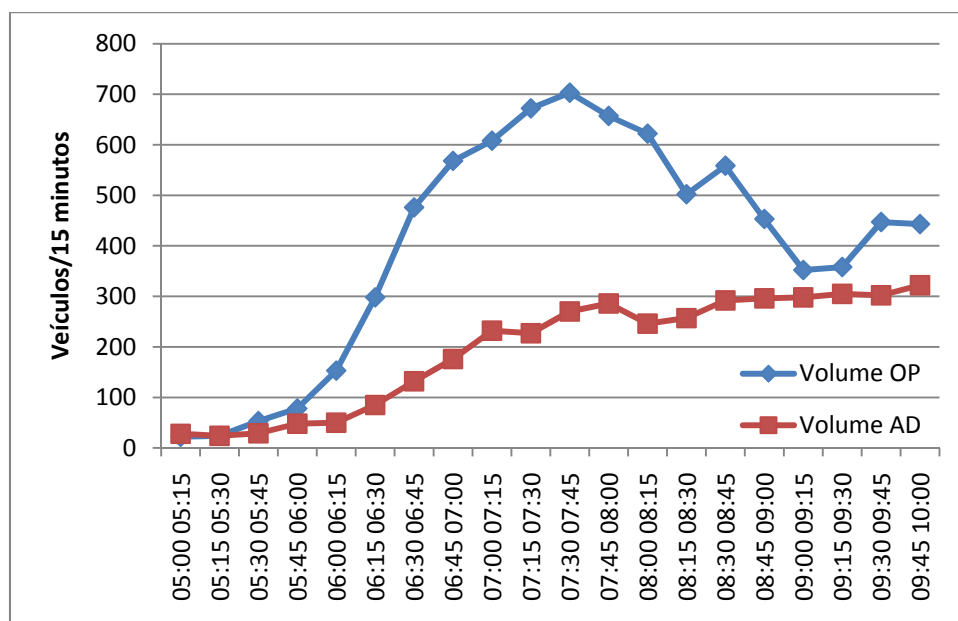


Figura 63 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Pedro II 3

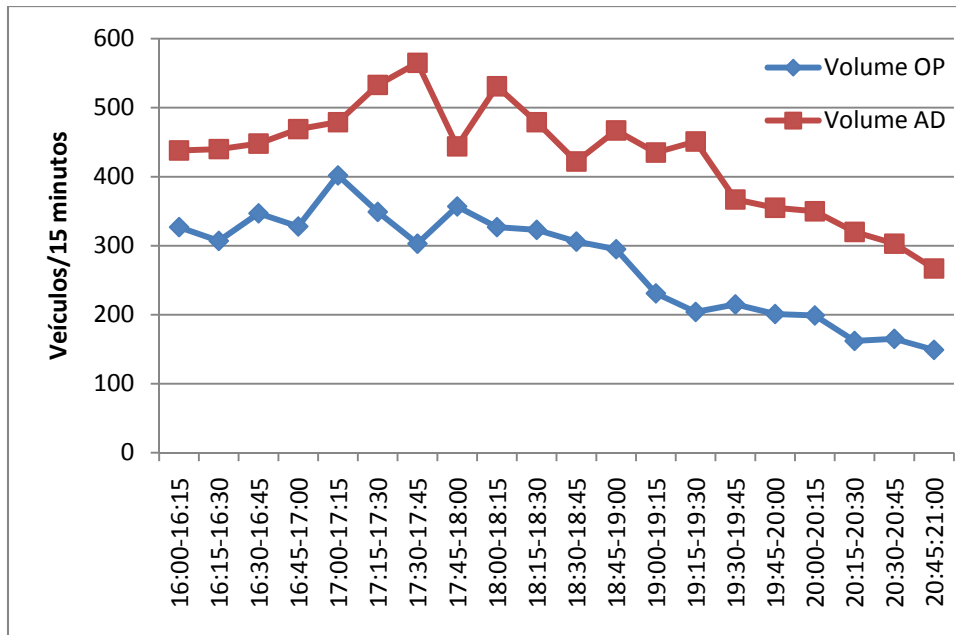


Figura 64 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Pedro II 3

A Figura 65 apresenta a velocidade média no turno da manhã. A mesma diminui com o início da manhã e é praticamente constante nos dois sentidos. Já a Figura 66 apresenta a velocidade média para o fluxo da tarde, onde percebe-se que, de forma geral, este indicador é menor no sentido Bairro >> Centro (OP). No entanto, conforme identificado em campo, o fato ocorreu devido a fatores ligados exclusivamente à operação normal do tráfego no local, naquela ocasião.

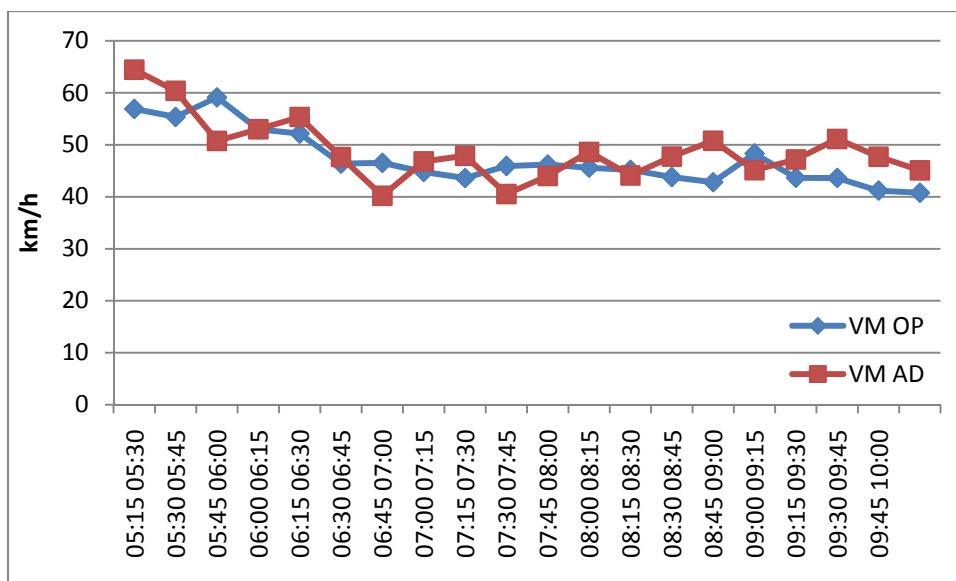


Figura 65 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Pedro II 3

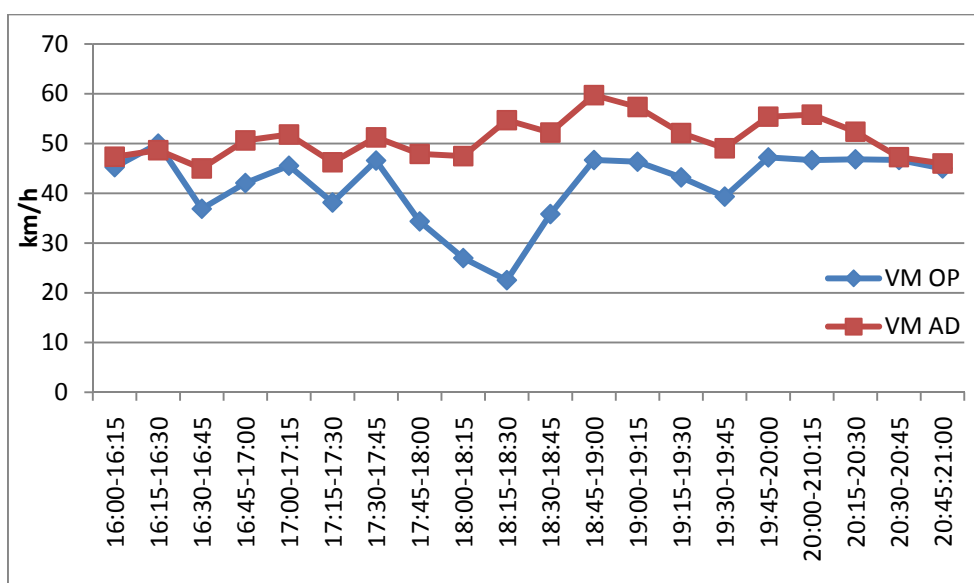


Figura 66 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Pedro II 3

No que se refere à ocupação média dos veículos, a Tabela 14 apresenta o resumo dos dados para este indicador. A ocupação média dos automóveis não chegou a 1,5. A ocupação média das motos também foi baixa. Com relação aos ônibus, as ocupações médias e máximas no turno da tarde foram maiores que no turno da manhã.

Tabela 14 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Pedro II 3

Turno	Ocupação Veicular (pessoas/veículo)								
	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,11	1,35	1,74	1,00	1,14	1,50	2,00	22,64	53,33
Tarde	1,10	1,36	1,80	1,00	1,11	1,50	4,67	28,50	78,33

A Figura 67 mostra que, de forma geral, as ocupações dos automóveis no turno da manhã em direção ao centro (OP) foram maiores. No restante do dia houve poucas variações significativas.

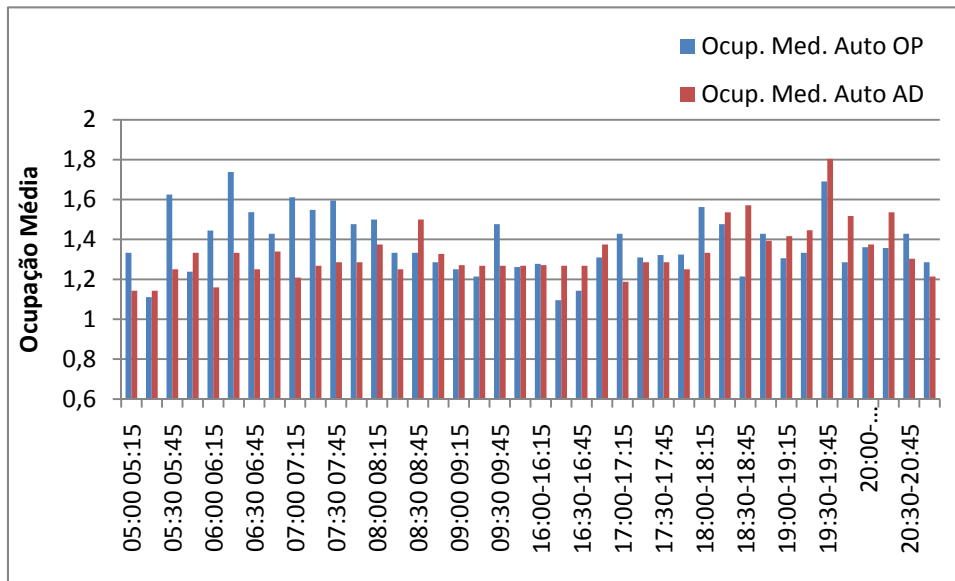


Figura 67 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Pedro II 3

A ocupação média dos ônibus apresentou o comportamento esperado. Isto é, maiores ocupações no turno da manhã em direção ao centro (OP) e à tarde em direção bairro (AD), conforme pode ser visto na Figura 68.

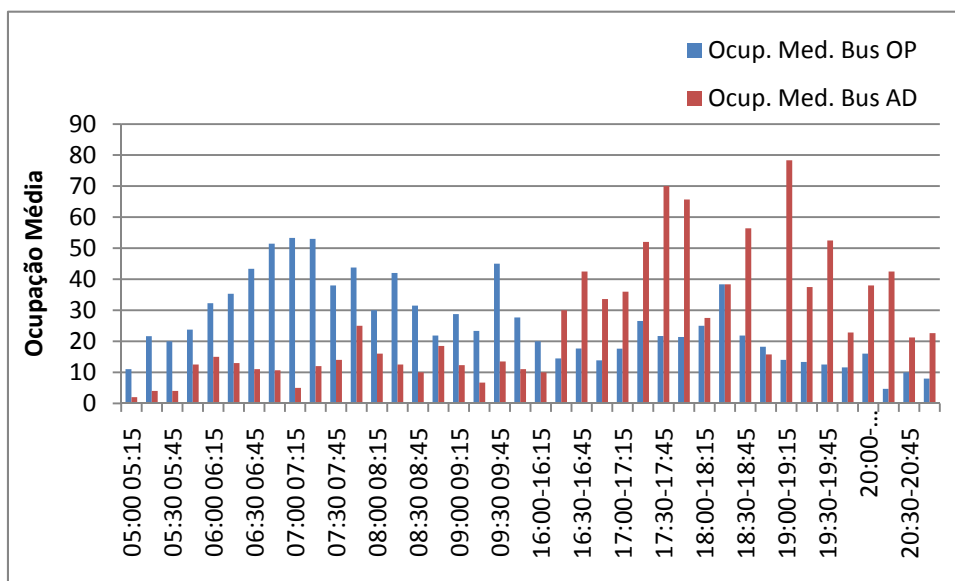


Figura 68 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Pedro II 3

Já a ocupação média das motos foi igual ao valor mínimo em vários intervalos de 15 minutos, conforme pode ser visto na Figura 69. Além disso, entre 8 e 9h houve maiores ocupações médias nos dois sentidos.

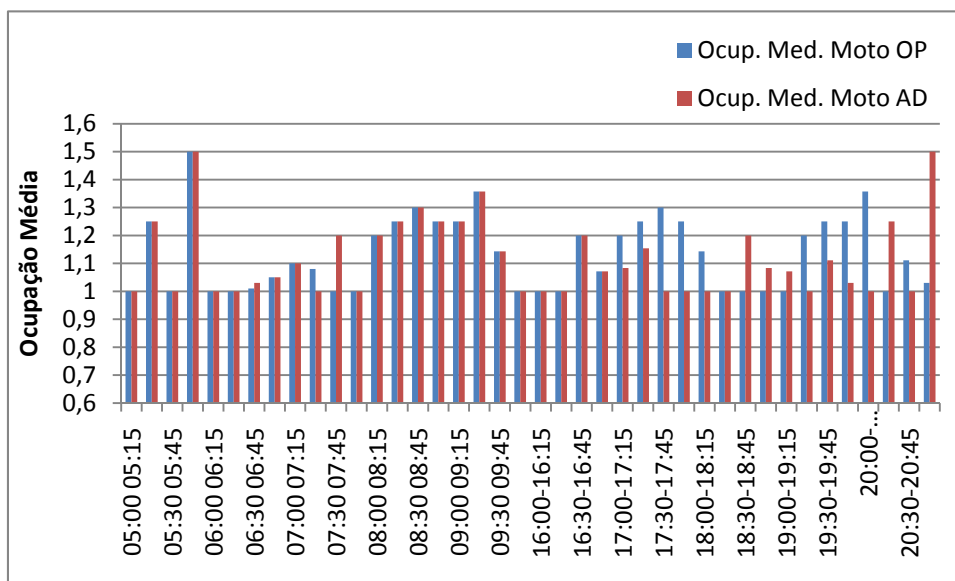


Figura 69 – Variação da ocupação média das motos no ponto Pedro II 3

H. Avenida Sebastião de Brito

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Bairro >> Centro. A Figura 70 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora. Salienta-se que este ponto foi contemplado com o intuito exclusivo de coletar dados em uma avenida com menores fluxos, na expectativa de se obter menores níveis de ruído. Logo, foram realizadas medições apenas no turno da manhã visto que, de forma geral, este é o turno que apresenta índices menores, conforme visto na apresentação de resultados dos outros pontos.



Figura 70 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Sebastião de Brito

A Tabela 15 apresenta o resumo dos dados de ruído, coletados para o ponto em questão. Verifica-se que, conforme esperado, o LeqMin obtido foi realmente o menor dentre todos os outros pontos apresentados, assim como o L90Min e o L10Min. Salienta-se que, conforme descrito no capítulo anterior, esta avenida funciona como coletora, ligando alguns bairros à Av. Cristiano Machado, importante via arterial da cidade.

Tabela 15 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Sebastião de Brito

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	44,3	46,9	60,3	60,5	70,7	62,8	71,9	94

A Figura 71 apresenta a variação do Leq no período de medição. Apesar de apresentar valores médios menores que os outros pontos, o comportamento é o mesmo, isto é, os níveis de ruído aumentam com o início da manhã e aumento do fluxo de veículos no local.

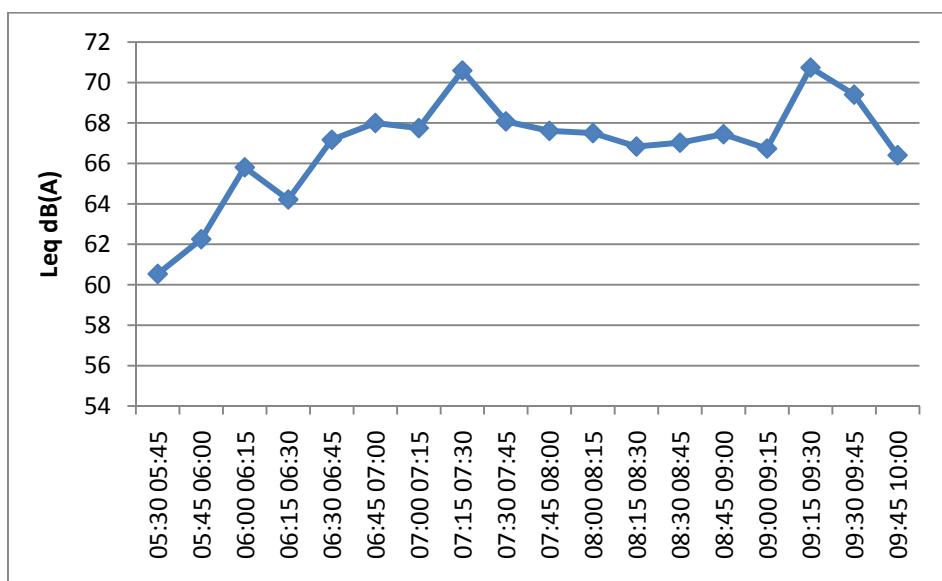


Figura 71 – Variação do Leq no ponto Sebastião de Brito

Pela Figura 72 é possível ver o aumento do fluxo de veículos nos dois sentidos, em especial em direção ao centro (AD). De forma geral, também verifica-se valores menores que nos outros pontos.

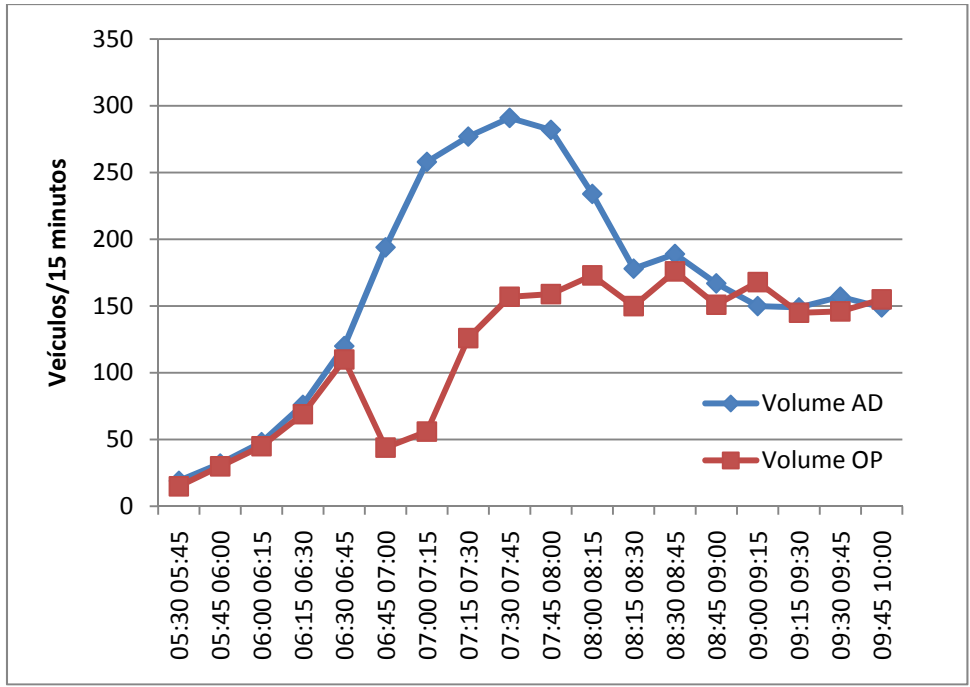


Figura 72 – Variação do fluxo de veículos: ponto Sebastião de Brito

Com relação à velocidade, a mesma foi praticamente constante sendo maior no sentido adjacente. De forma geral, este indicador apresentou valores mais baixos devido à presença de redutores de velocidade não muito longe do ponto de medição nos dois sentidos.

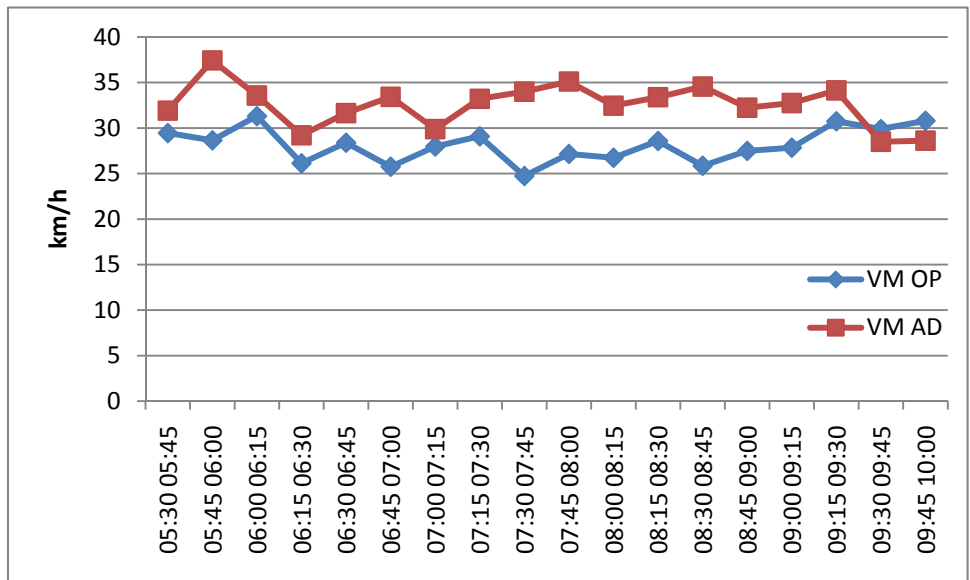


Figura 73 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no ponto Sebastião de Brito

A Tabela 16 apresenta um resumo para as ocupações médias verificadas para o ponto em questão. Destaque para a ocupação média máxima (15 minutos) identificada nos ônibus, que foi relativamente baixa. O fato se deve à avenida ainda estar dentro do bairro, de forma que mais passageiros ainda entrariam nos ônibus em pontos posteriores ao local de medição. No restante, não há muitas diferenças com relação ao apresentado nos outros pontos.

Tabela 16 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para Sebastião de Brito

Turno	Ocupação Veicular (pessoas/veículo)								
	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,117647	1,363953	1,73	1	1,1675174	2	2	10,11806	36,66667

A Figura 74 apresenta a ocupação média veicular identificada neste ponto, onde é possível perceber que, de forma geral, as ocupações em direção ao centro (AD) são maiores.

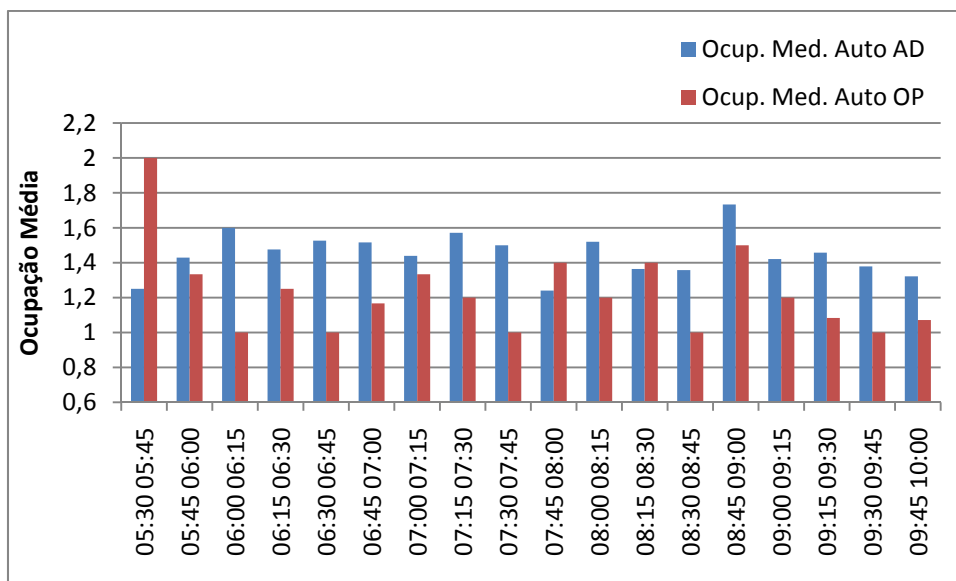


Figura 74 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Sebastião de Brito

Na Figura 75 é possível ver que as maiores ocupações médias dos ônibus são em direção ao centro, sendo que no sentido contrário, os valores são muito baixos.

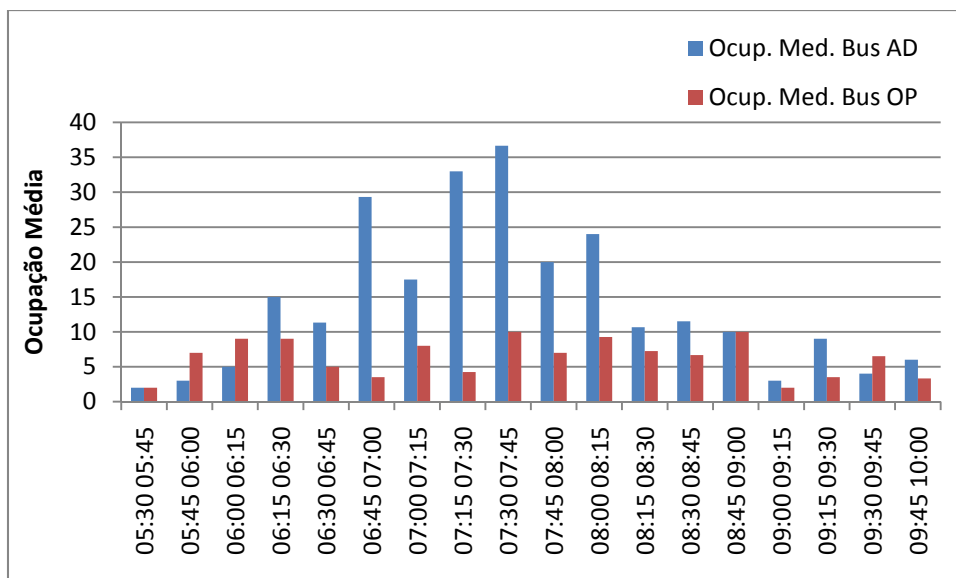


Figura 75 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Sebastião de Brito

Com relação à ocupação média das motos, verifica-se que esta apresenta valores baixos e sem grandes variações, similarmente aos outros pontos, conforme apresentado na Figura 76.

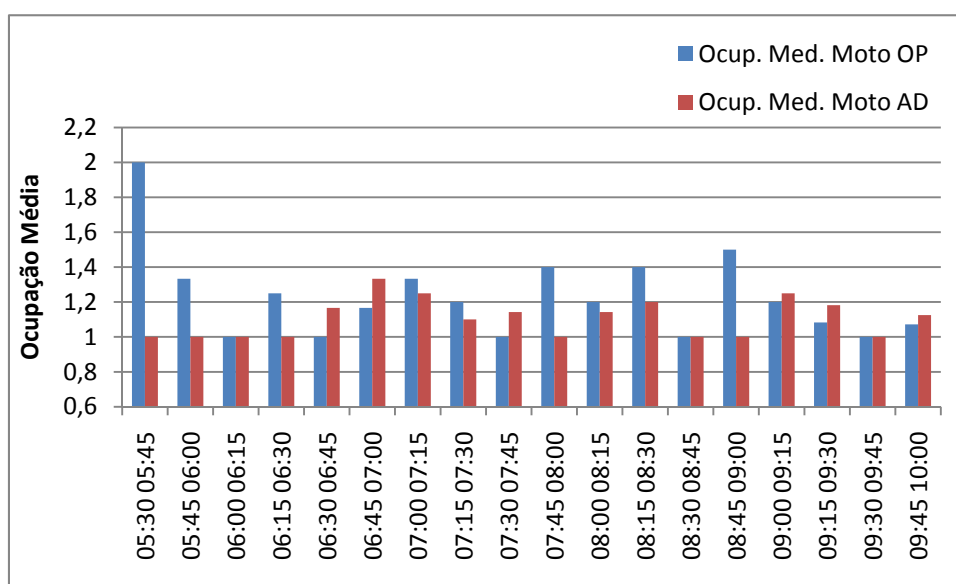


Figura 76 – Variação da ocupação média das motos no ponto Sebastião de Brito

I. Avenida Silviano Brandão Ponto 1

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Bairro >> Centro. A Figura 77 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão

sonora. Vale salientar que no início previsto para medição neste ponto estava chovendo de forma significativa, impedindo o posicionamento dos pesquisadores, bem como dos equipamentos. Desta forma, as medições iniciaram um pouco mais tarde e para compensar prolongou-se a coleta de dados até meio dia.



Figura 77 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Silviano Brandão 1

Na Tabela 17 é possível verificar o resumo dos parâmetros de ruído obtidos para este ponto. O comportamento é bastante similar aos outros pontos. No entanto, a variação do Leq no turno da tarde foi relativamente pequena (somente 3 dB), enquanto que no turno da manhã a amplitude foi similar aos outros pontos.

Tabela 17 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Silviano Brandão 1

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	51,6	56	61	69,7	76,1	73	77,7	99,7
Tarde	51	56,7	64	69,1	72,6	72	75	87,4

A Figura 78 apresenta a variação do Leq durante as medições no turno da manhã. Verifica-se um comportamento similar aos outros pontos, com um pico de ruído e decréscimo a partir deste momento.

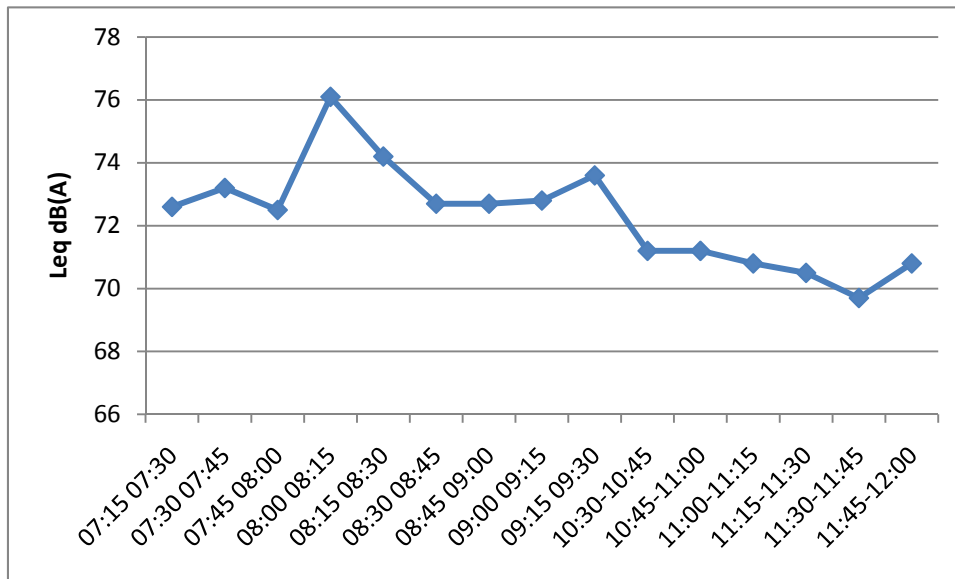


Figura 78 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Silviano Brandão 1

Já a Figura 79 apresenta a variação do Leq durante as medições no turno da tarde, cujo comportamento é muito similar ao turno da manhã. Isto é, os níveis de ruído após um momento de pico tendem a ir diminuindo com o início da noite.

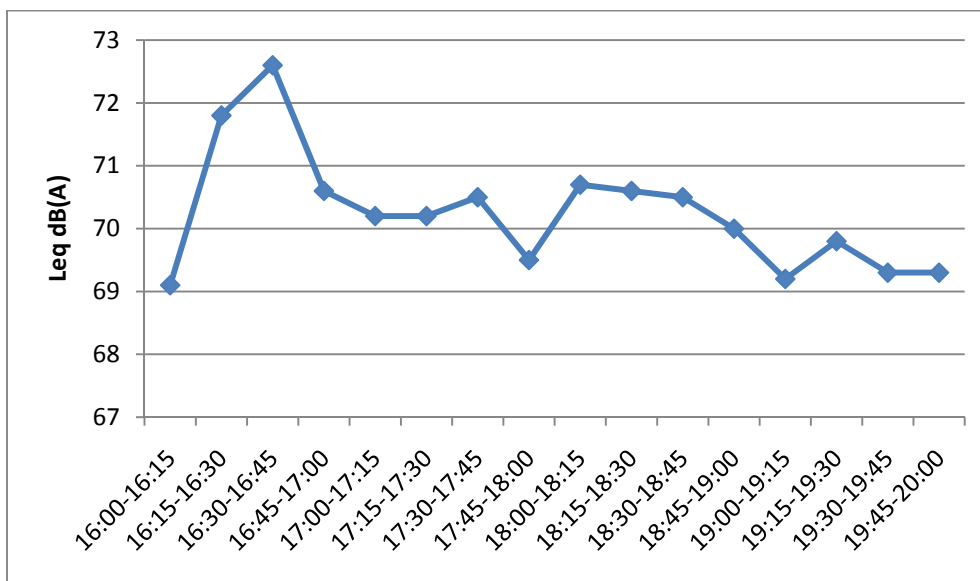


Figura 79 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Silviano Brandão 1

A análise da Figura 80 permite verificar que o fluxo é maior no sentido AD em direção ao centro logo no início da manhã e tende a ir diminuindo em seguida. No sentido contrário o fluxo é praticamente constante.

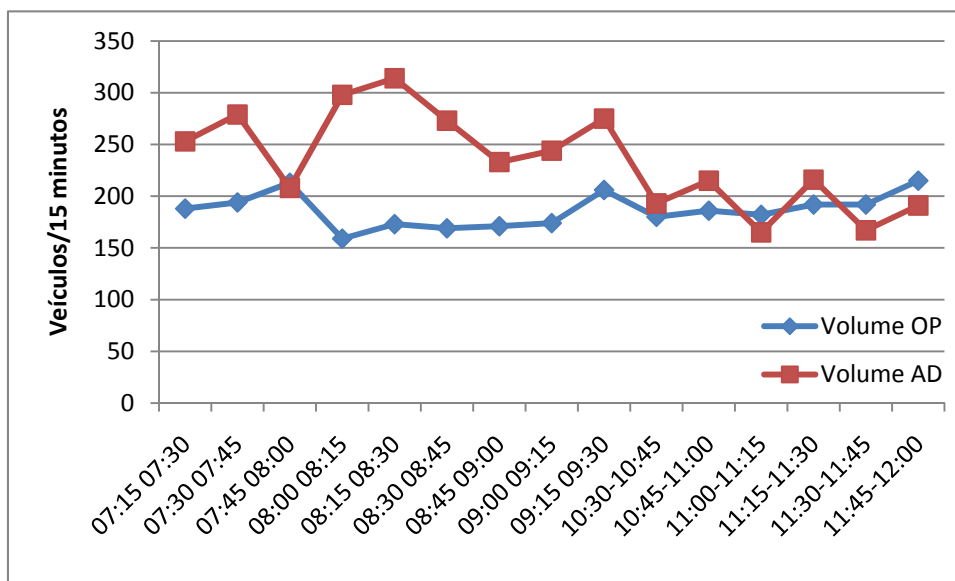


Figura 80 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Silviano Brandão 1

No turno da tarde, como esperado, o fluxo maior é em direção aos bairros (OP), conforme pode ser visto na Figura 81. Analisando a mesma Figura ainda é possível verificar que o fluxo vai diminuindo nos dois sentidos com o início da noite.

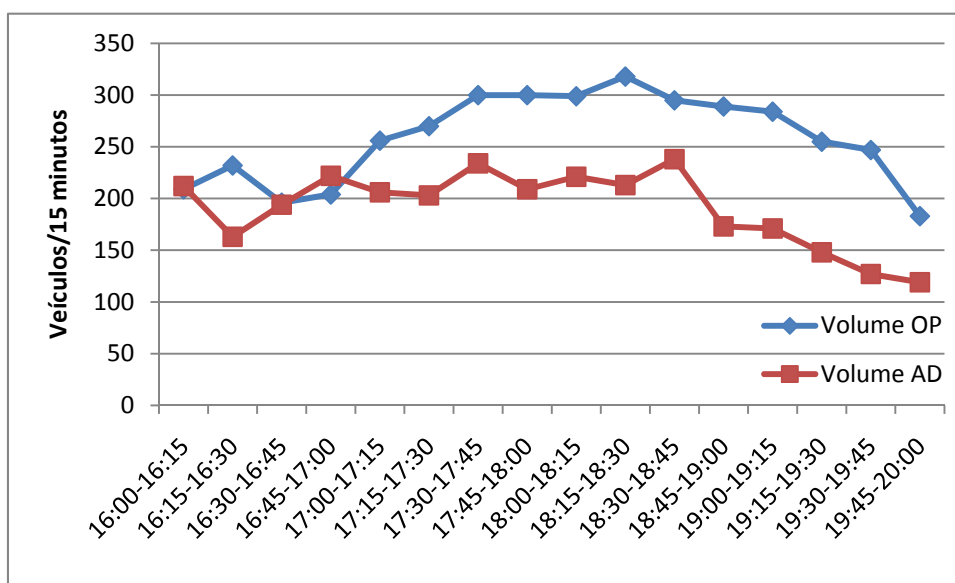


Figura 81 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Silviano Brandão 1

Com relação às velocidades médias no turno da manhã, a Figura 82 mostra que logo no início da manhã houve variações bruscas com uma tendência de estabilização em seguida. Nos dois sentidos a variação da velocidade média é praticamente a mesma.

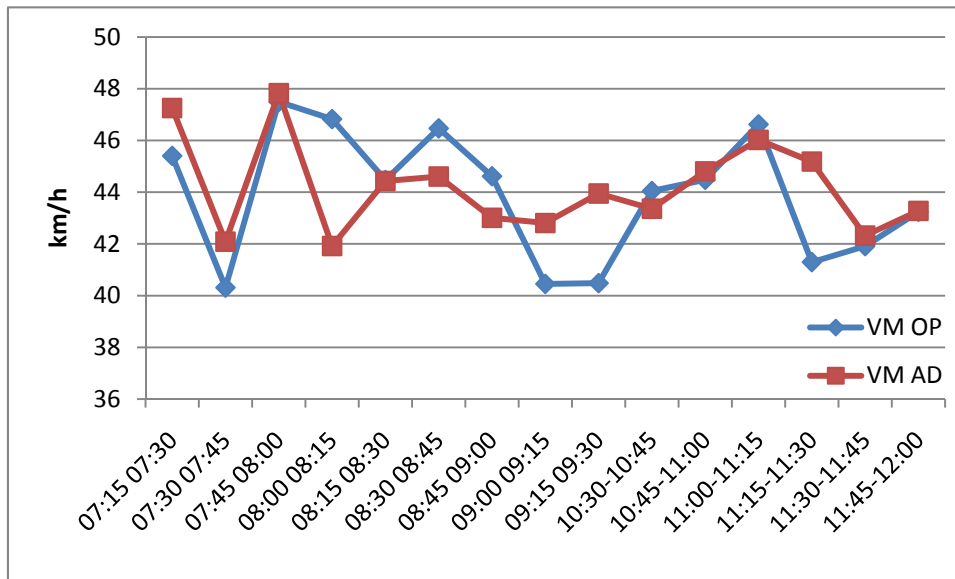


Figura 82 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Silvano Brandão 1

No turno da tarde verifica-se que houve um decréscimo da velocidade média por volta de 16:45h e, após isso, a mesma começou a aumentar nos dois sentidos, conforme pode ser visto na Figura 83.

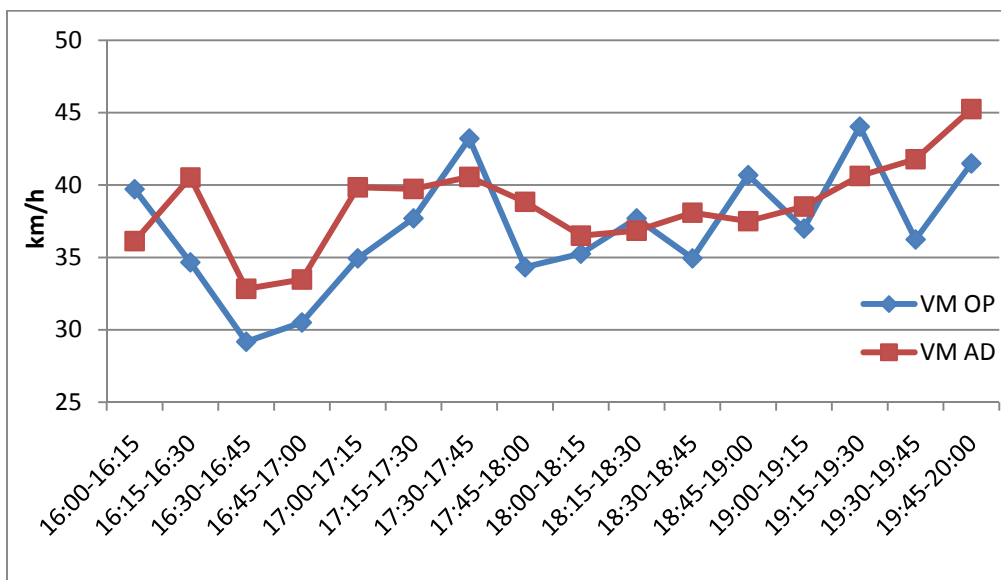


Figura 83 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Silvano Brandão 1

A Tabela 18 apresenta o resumo de dados de ocupação veicular coletado para este ponto. É possível verificar que a ocupação média dos automóveis não chegou a 1,5

passageiro / veículo, assim como a de moto. De forma geral, as ocupações verificadas no turno da tarde foram maiores.

Tabela 18 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Silviano Brandão 1

Turno	Ocupação Veicular (pessoas/veículo)								
	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,176471	1,3109982	1,50	1,090909	1,3087266	1,5	4,25	25,72389	70
Tarde	1,222222	1,3980947	1,566667	1,222222	1,3960069	1,5	5	33,46094	72,5

Ao analisar a Figura 84 verifica-se que a ocupação média veicular foi praticamente constante durante todo período de medição.

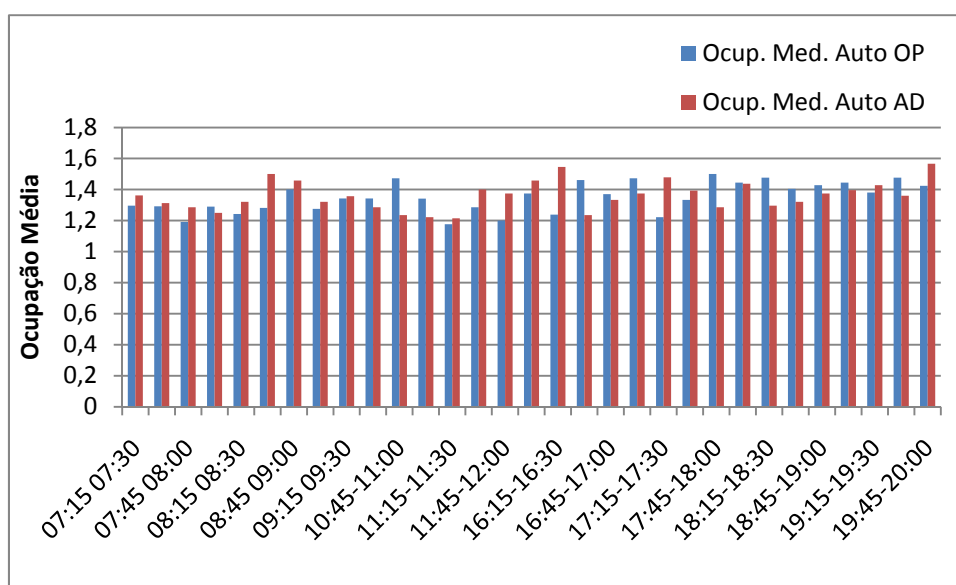


Figura 84 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Silviano Brandão 1

Já a análise da Figura 85 mostra as variações usuais para ocupação dos ônibus em relação a turno e sentido.

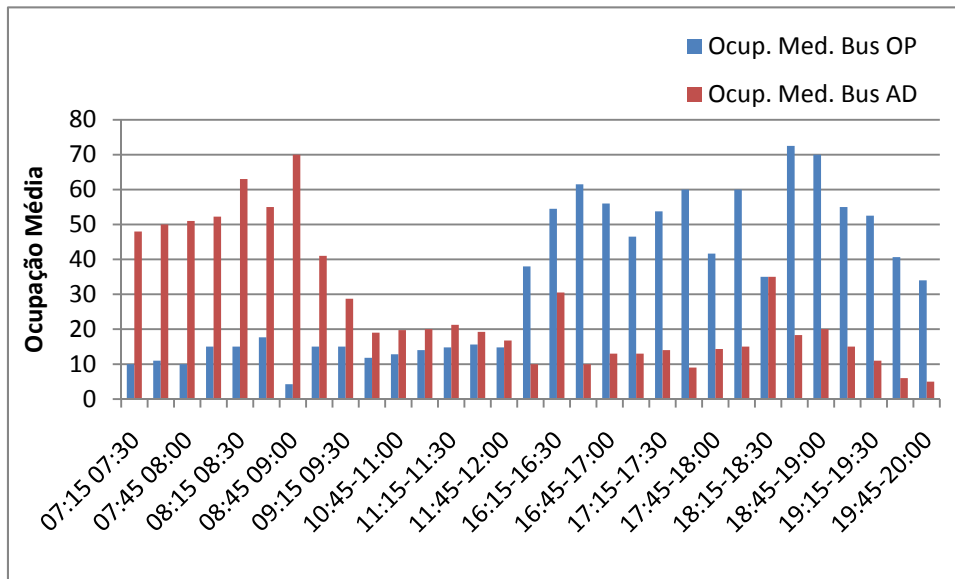


Figura 85 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Silvano Brandão 1

Por último para este ponto, a Figura 86 apresenta a ocupação média para as motos, de onde se conclui que o comportamento foi similar ao dos automóveis, ou seja, sem grandes variações.

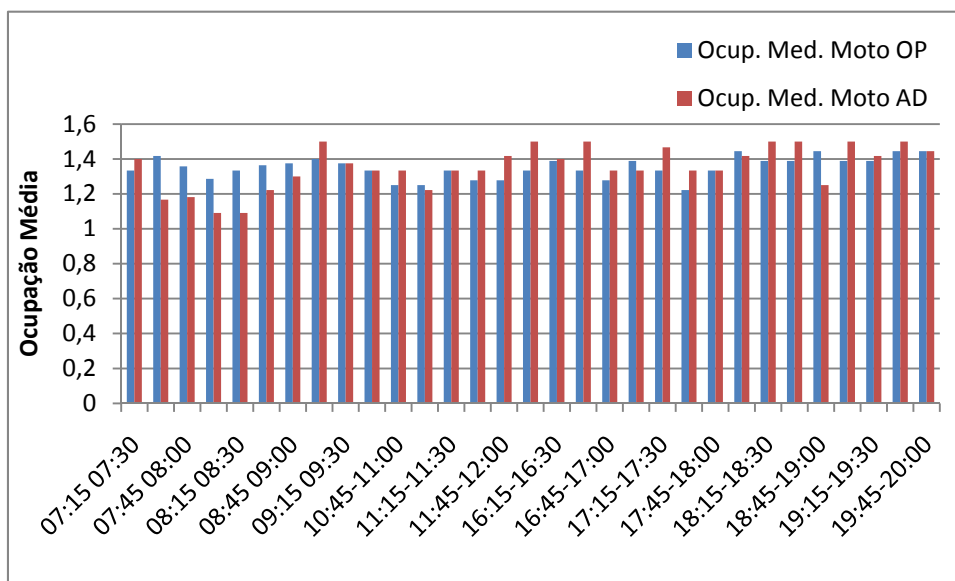


Figura 86 – Variação da ocupação média das motos no ponto Silvano Brandão 1

J. Avenida Silvano Brandão Ponto 2

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro, em um terreno lindeiro a um hospital. A

Figura 87 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.



Figura 87 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Silviano Brandão 2

Na Tabela 19 é possível ver o resumo dos dados de ruído coletados para este ponto. De forma geral, verifica-se maiores níveis de ruído para o turno da tarde. Analisando ainda o LeqMin e o L10Min pode-se inferir que os níveis no local são significativos. Além disso, devido ao fato do ponto ser muito próximo a um hospital, infere-se que os níveis encontrados estão bem acima do que é recomendado para este tipo de uso do solo pelas legislações e normas específicas.

Tabela 19 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Silviano Brandão 2

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	42,2	49	65	69,5	76,3	72,3	79	98,6
Tarde	50,4	62	74	73,9	77,2	74	79	105

A análise da Figura 88 mostra o típico comportamento verificado nos outros pontos, ou seja, aumento de ruído com o início da manhã e depois uma diminuição.

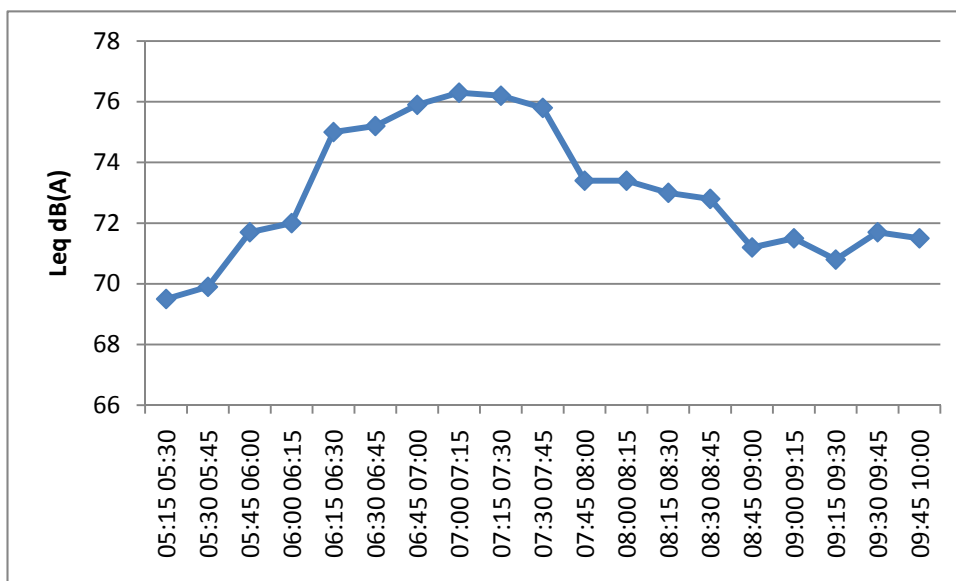


Figura 88 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Silvano Brandão 2

No turno da tarde há um aumento dos níveis de ruído no fim da tarde e posteriormente os valores começam a diminuir, conforme pode ser visto na Figura 89.

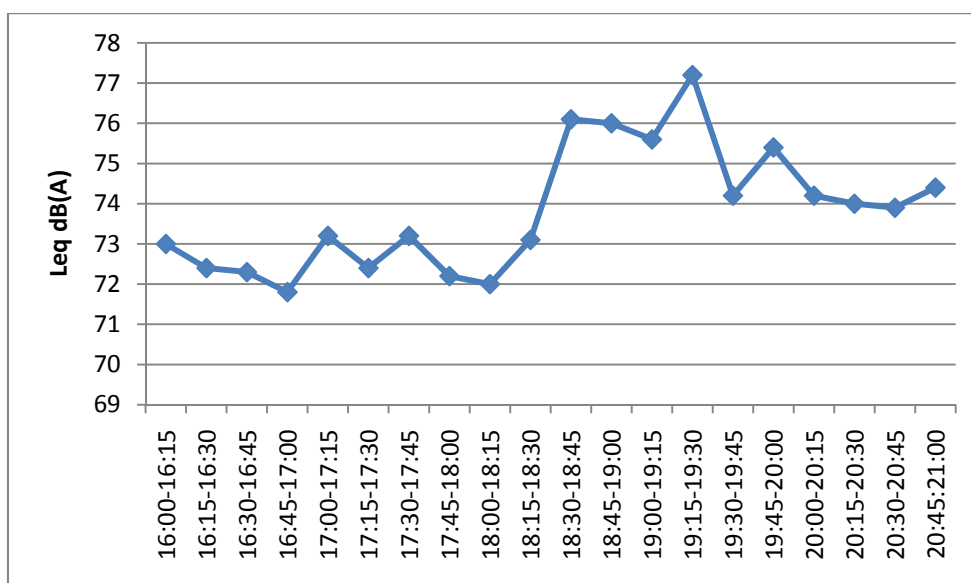


Figura 89 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Silvano Brandão 2

O fluxo de veículos neste ponto tem volumes e variações muito parecidos, nos dois sentidos, e com o clássico comportamento de aumento com o início da manhã (caracterizando o pico) seguido de uma posterior diminuição.

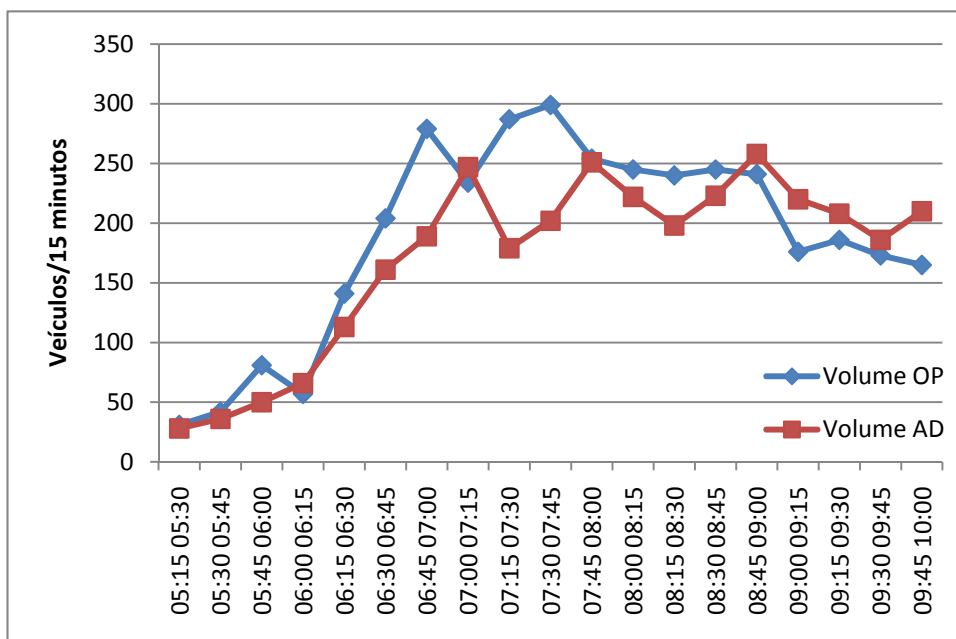


Figura 90 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Silviano Brandão 2

Já no turno da tarde o sentido AD (Centro >> Bairro) foi mais significativo, conforme pode ser visto na Figura 91. Além disso, verifica-se comportamento similar nos dois sentidos, com uma gradual diminuição com o início da noite.

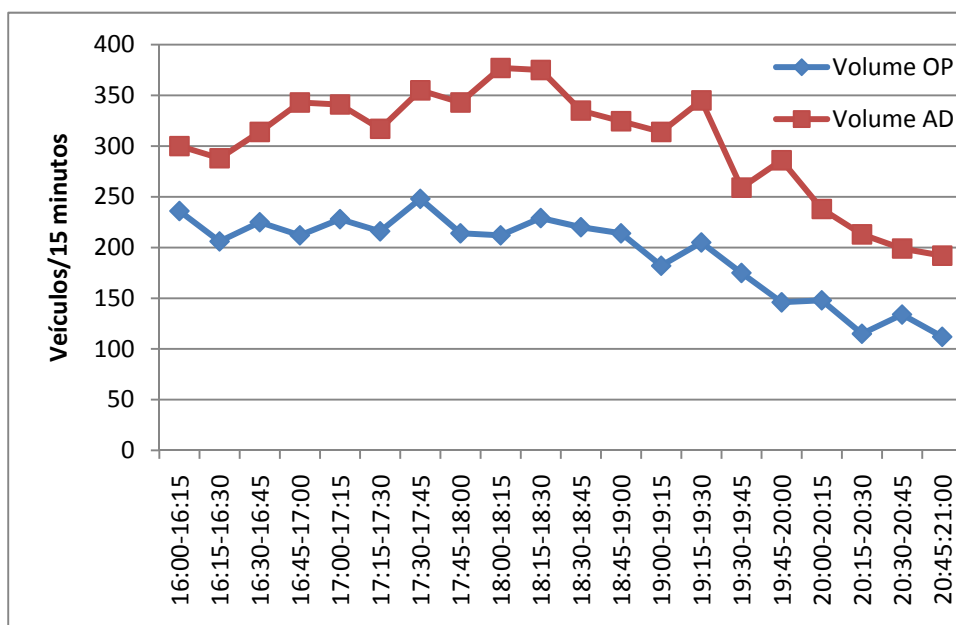


Figura 91 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Silviano Brandão 2

Com relação à velocidade, no turno da manhã a mesma diminui lentamente no início da manhã nos dois sentidos, como pode ser visto na Figura 92. Mais próximo do

final da manhã a velocidade sofre uma redução mais significativa no sentido Centro >> Bairro (AD), ocasionada por uma retenção à jusante na avenida, que resultou em formação de filas próximo ao ponto de medição.

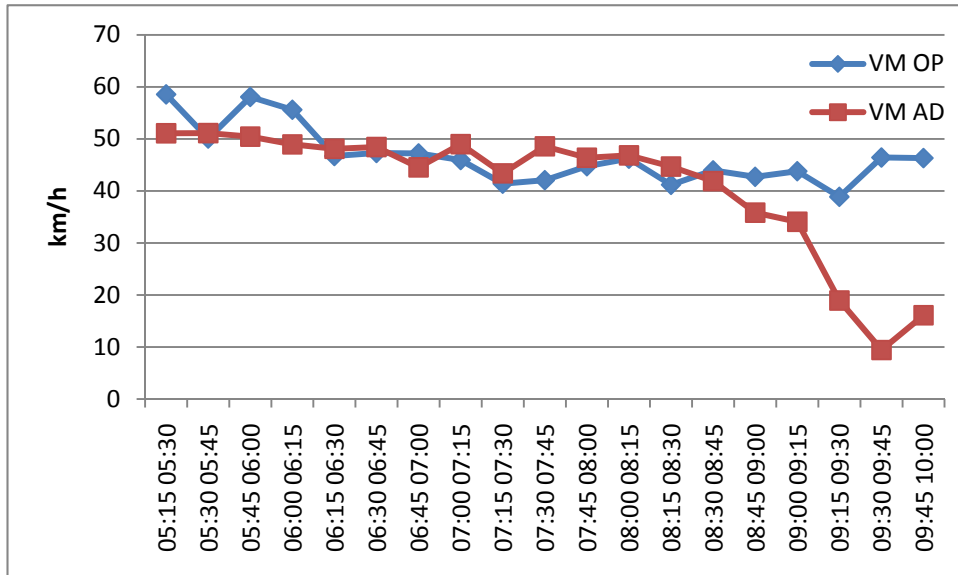


Figura 92 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Silvano Brandão 2

Já no turno da tarde a velocidade foi praticamente constante nos dois sentidos com uma pequena redução por volta das 19:00 horas, conforme pode ser visto na Figura 93.

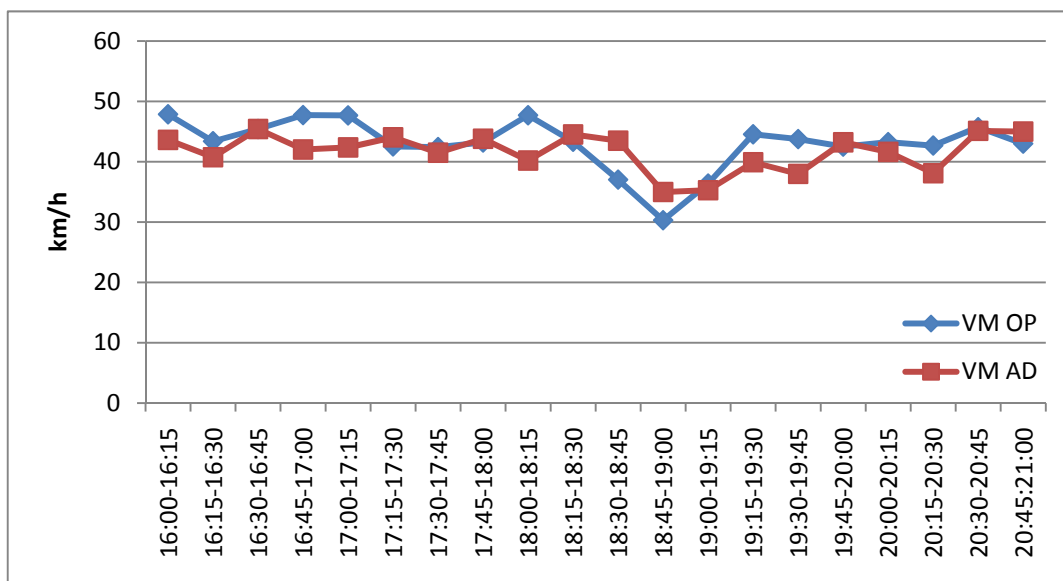


Figura 93 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Silviano Brandão 2

No que diz respeito à ocupação veicular média, a Tabela 20 apresenta um resumo deste indicador para o ponto em questão. É possível verificar, de forma geral, maiores ocupações no turno da manhã. Os valores de ocupação média de automóveis nos dois turnos foi muito próxima, chegando a 1,5 passageiro / veículo.

Tabela 20 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Silviano Brandão 2

Ocupação Veicular (pessoas/veículo)									
Turno	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	1,10	1,42	1,95	1,00	1,20	1,50	3,78	25,23	64,83
Tarde	1,34	1,51	1,72	1,00	1,08	1,21	7,00	19,27	39,11

Analisando a Figura 94 conclui-se que a ocupação média veicular variou muito pouco ao longo do dia neste ponto.

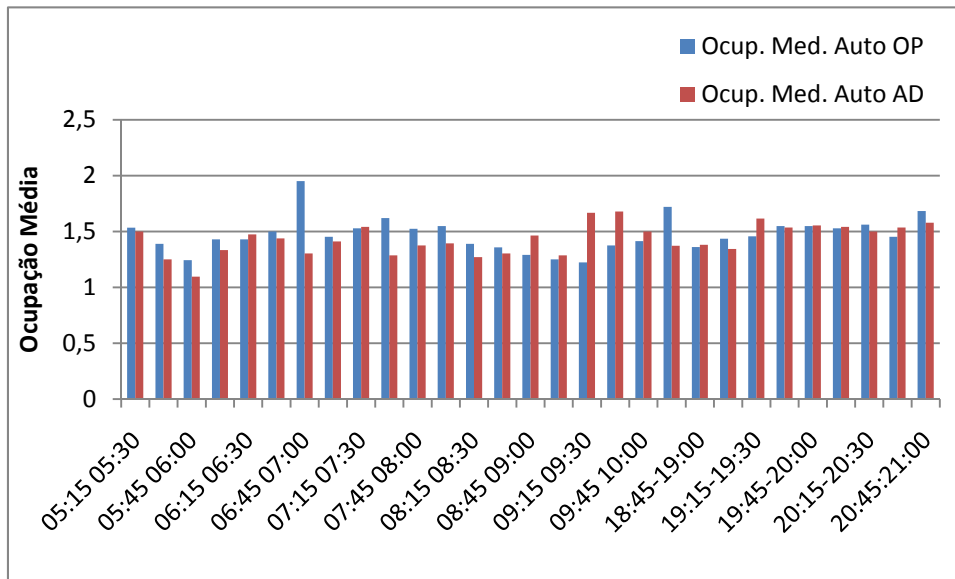


Figura 94 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Silvano Brandão 2

Já a Figura 95 apresenta o mesmo comportamento da variação da ocupação dos ônibus identificada nos outros pontos (picos bem definidos em turnos e sentidos opostos).

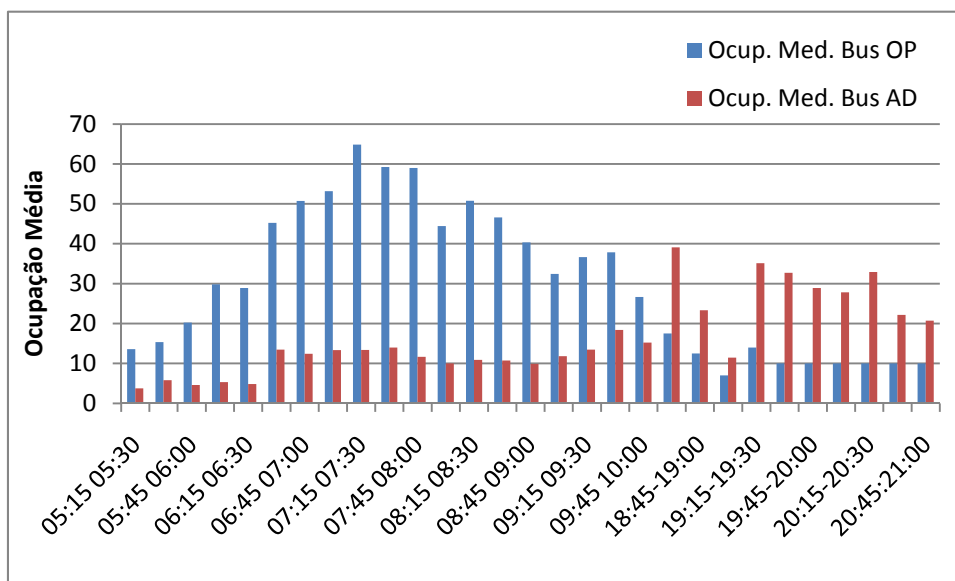


Figura 95 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Silvano Brandão 2

A ocupação média das motos variou muito pouco ao longo do dia, conforme pode ser visto na Figura 96.

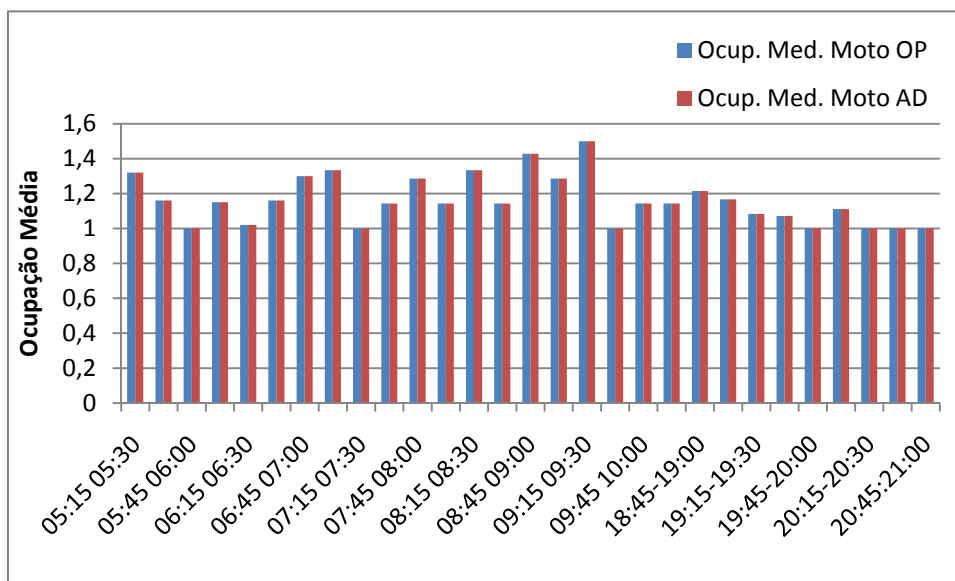


Figura 96 – Variação da ocupação média das motos no ponto Silvano Brandão 2

A. Linha Verde

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro. A Figura 97 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.



Figura 97 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Linha Verde

A análise da Tabela 21 permite verificar que os níveis encontrados neste ponto são bem superiores ao encontrado no restante dos pontos de medição. Além disso, o

nível sonoro equivalente (Leq) variou apenas 1 dB durante toda medição, conforme pode ser melhor visualizado na Figura 98.

Tabela 21 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Linha Verde

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Tarde	66,8	73,1	74,8	82	83	85,3	86,6	99,3

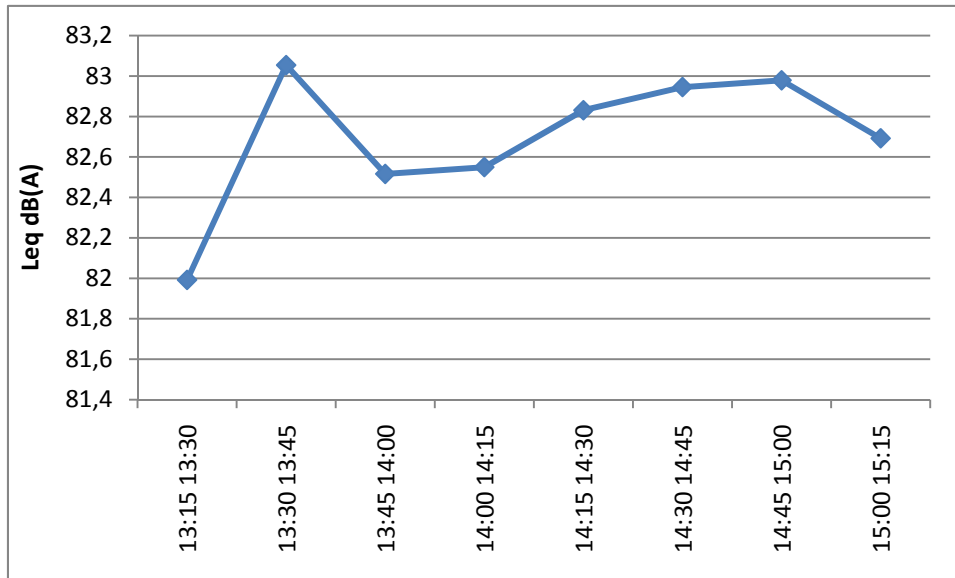


Figura 98 – Variação do Leq no ponto Linha Verde

Com relação ao fluxo de veículos, verifica-se que este foi praticamente constante durante todo período de medição, conforme pode ser visto na Figura 99.

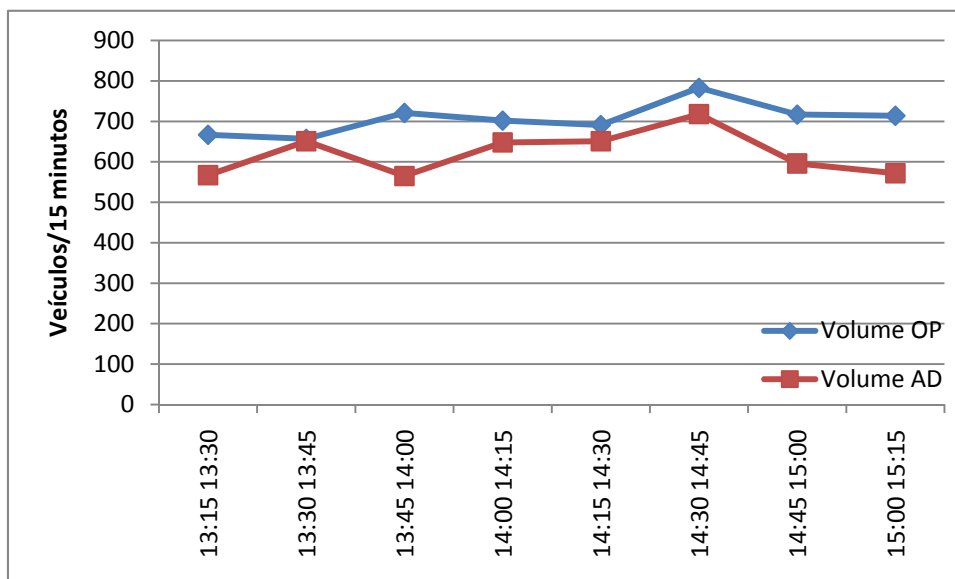


Figura 99 – Variação do fluxo de veículos: ponto Linha Verde

A velocidade média neste ponto também foi elevada, o que provavelmente explica em parte os altos níveis de ruído identificados. Verificou-se ainda uma tendência de diminuição com o avanço da tarde, conforme pode ser visto na Figura 100.

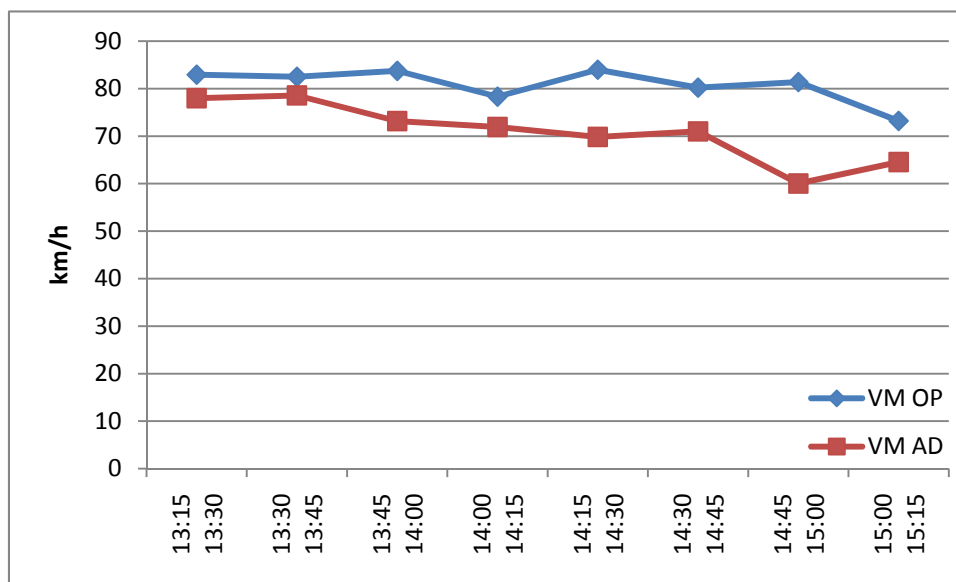


Figura 100 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no ponto Linha Verde

Em relação à ocupação veicular média, a Tabela 22 apresenta um resumo deste indicador para o ponto em questão. É possível verificar um comportamento similar aos outros pontos (pouca variação da ocupação para automóveis e motos) e, por ser um período de entre-pico, baixas ocupações médias também nos ônibus.

Tabela 22 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Linha Verde

Turno	Ocupação Veicular (pessoas/veículo)								
	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Tarde	1,2	1,481956	1,690476	1	1,2418380	1,5	0	20,52366	32,5

A Figura 101, a Figura 102 e a Figura 103 apresentam, respectivamente, a variação da ocupação dos automóveis, ônibus e motos durante o período de ocupação. Nelas é possível concluir que as ocupações no sentido Bairro >> Centro foram maiores que no sentido contrário.

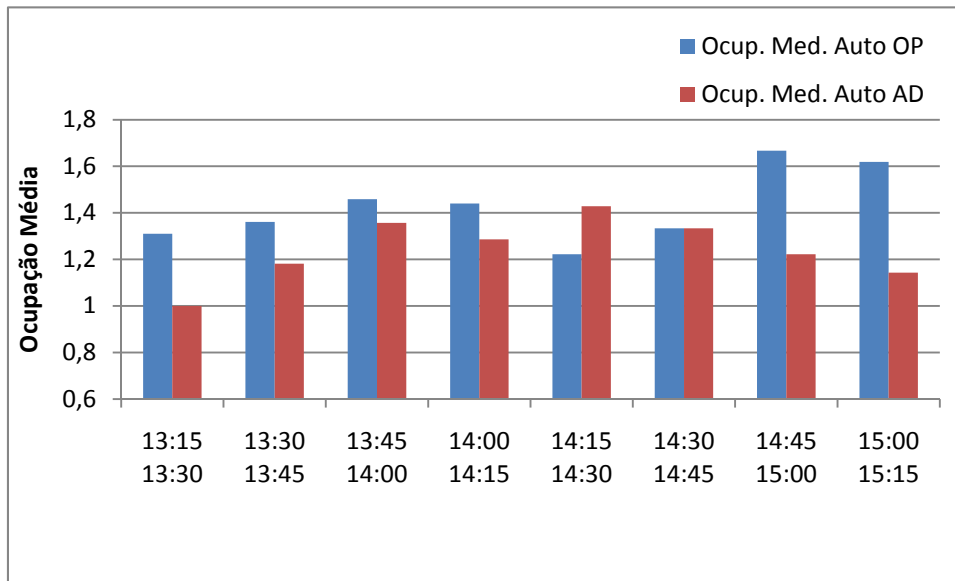


Figura 101 – Variação da ocupação média dos automóveis no ponto Linha Verde

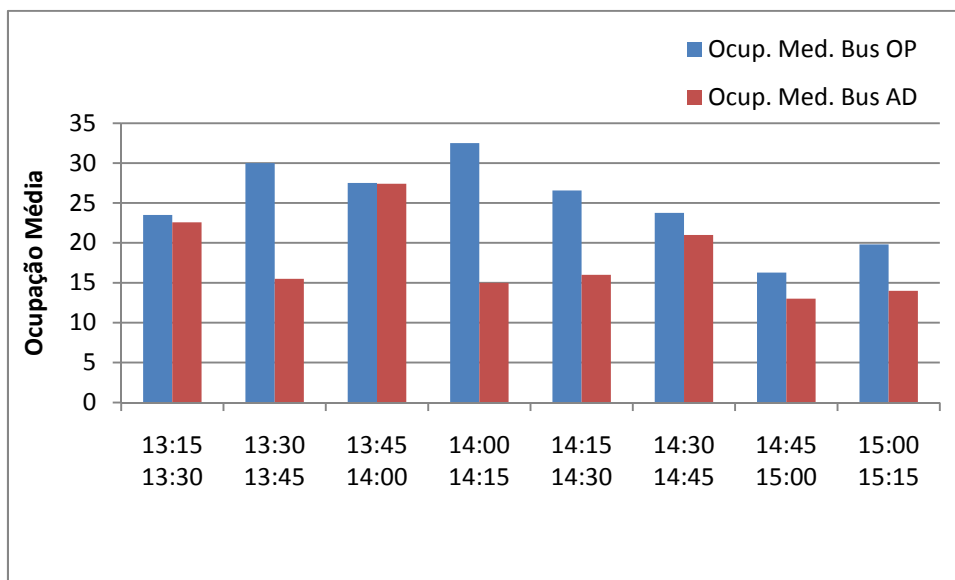


Figura 102 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Linha Verde

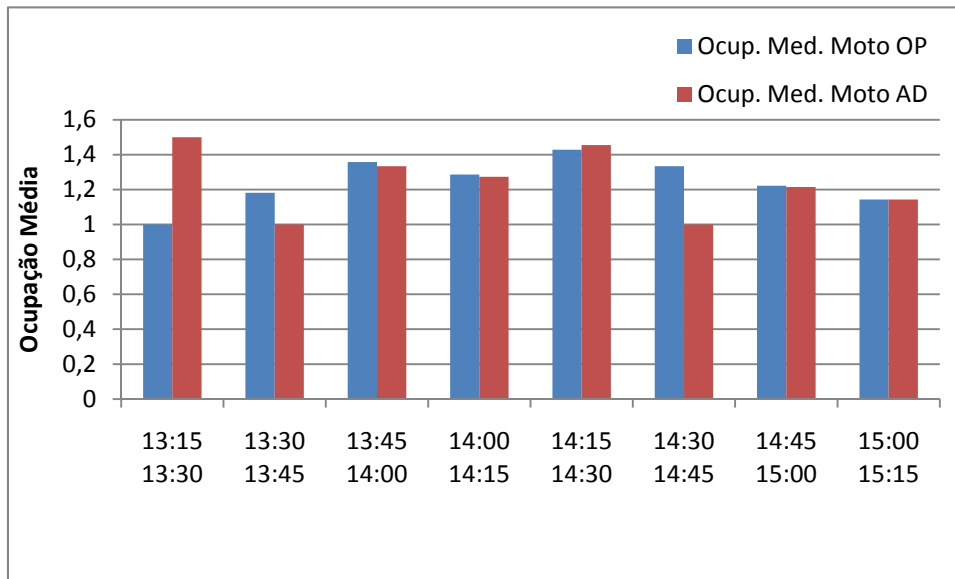


Figura 103 – Variação da ocupação média das motos no ponto Linha Verde

B. Ponto Especial 1: Expresso Tiradentes

Conforme já mencionado foram selecionados alguns pontos para mensurar os níveis de ruído em situações específicas. Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no único cruzamento existente no Elevado do Expresso Tiradentes, de forma que veículos que passavam nas faixas mais próximas ao aparelho foram considerados no Sentido adjacente (AD). Não foi possível instalar o medidor de nível de pressão sonora em nenhum outro ponto devido à pouca largura do elevado, o que colocaria em risco a segurança dos pesquisadores. A Figura 104 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.

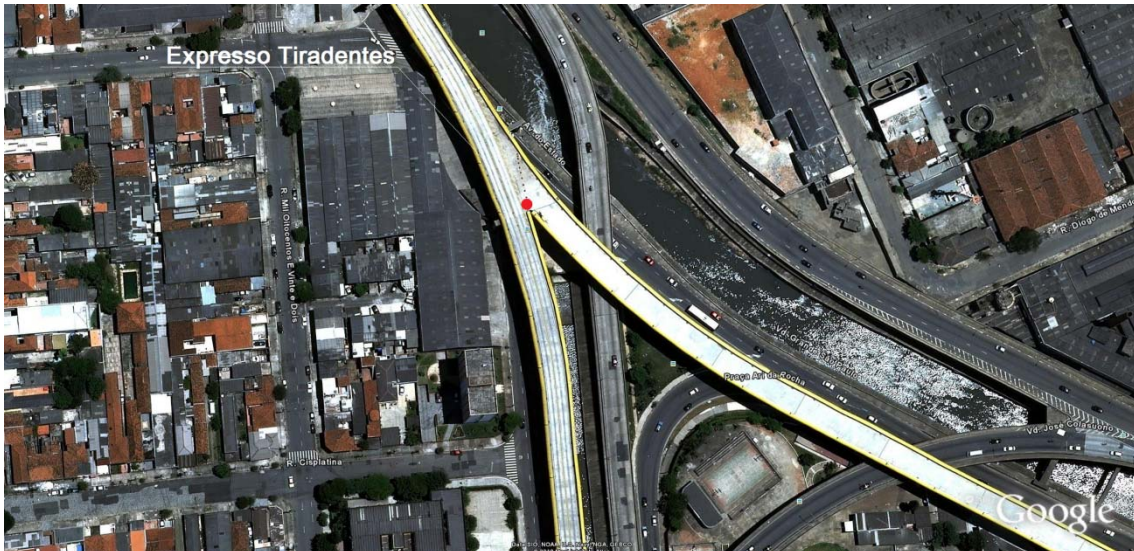


Figura 104 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Expresso Tiradentes

A Tabela 23 apresenta o resumo dos dados de ruído obtidos para este ponto. Verifica-se que os valores são similares ao encontrado nos outros pontos, mesmo sendo uma via elevada e com fluxo exclusivo de ônibus. A causa provável para este cenário é o fato de que embaixo existem vias com fluxo significativo de veículos, o que acaba afetando os ruídos que chegam até o aparelho, instalado no elevado. A variação do Leq foi relativamente pequena durante as medições, com variação de cerca de 3 dB.

Tabela 23 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Expresso Tiradentes

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Tarde	54,9	57,5	59,4	69,2	72,8	70,2	75,8	93,4

A Figura 105 apresenta a variação do parâmetro Leq durante o período de medição. Percebe-se que o mesmo foi aumentando com o início do pico da tarde, onde o fluxo de veículos também é maior, conforme pode ser visto na Figura 106. O fluxo nos dois sentidos é praticamente igual, conforme esperado, visto que praticamente todos os veículos vão e voltam.

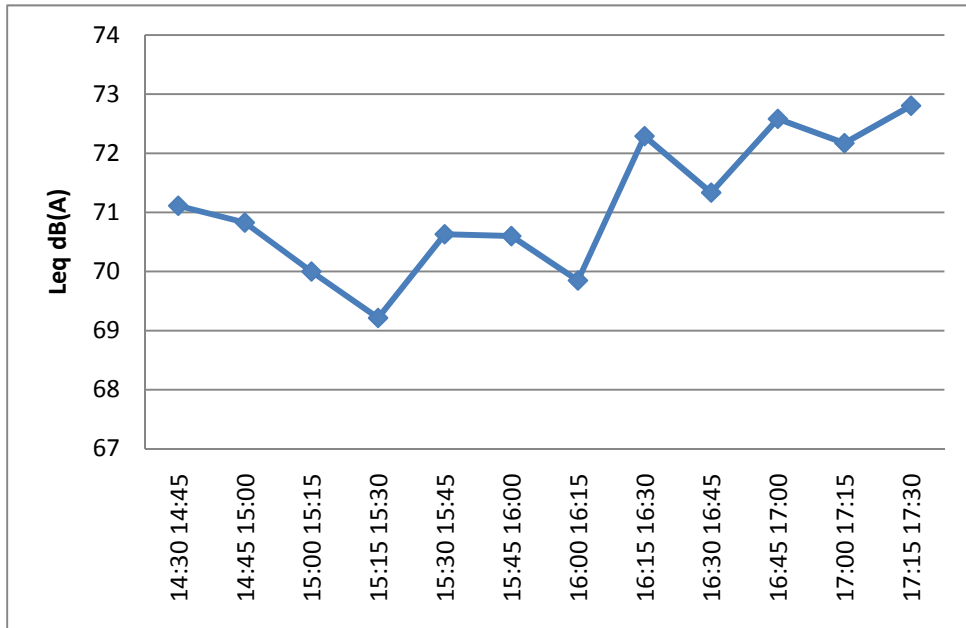


Figura 105 – Variação do Leq no ponto Expresso Tiradentes

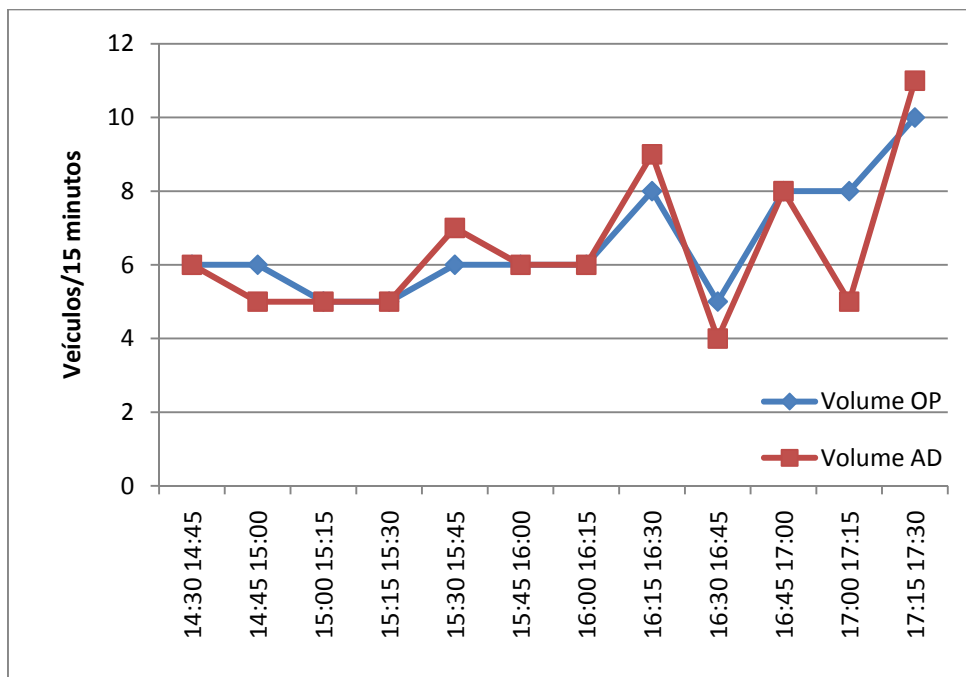


Figura 106 – Variação do fluxo de veículos: ponto Expresso Tiradentes

Com relação à velocidade, verifica-se que a mesma varia pouco e é, de forma geral, baixa, conforme pode ser visto na Figura 107. De forma geral, nas faixas opostas ao aparelho a velocidade média foi maior. Provavelmente, devido ao fato de que os motoristas diminuam intencionalmente a velocidade ao passar próximo do aparelho e dos pesquisadores.

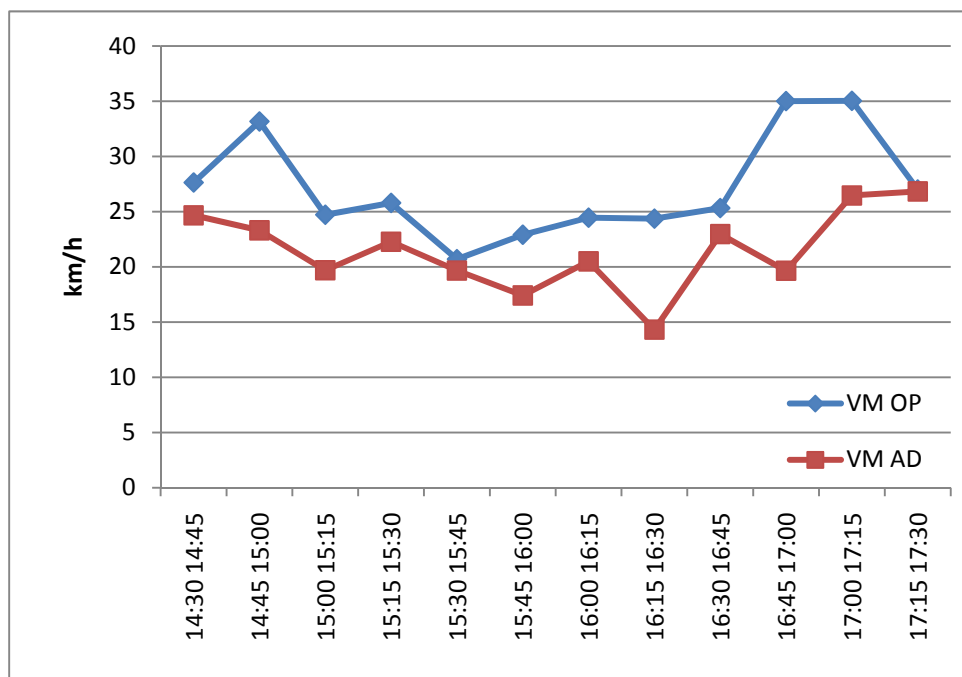


Figura 107 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no ponto Expresso Tiradentes

No que diz respeito à ocupação veicular média, a Tabela 24 apresenta o resumo deste indicador para o ponto em questão. Devido à exclusividade de circulação de ônibus no elevado, só se tem dados referente a este modo, os quais são típicos de um horário de entre-pico. Na Figura 108 é apresentada a variação dos valores médios de cada 15 minutos para este indicador, na qual é possível verificar uma tendência de aumento com o início do pico do sistema.

Tabela 24 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Expresso Tiradentes

Ocupação Veicular (pessoas/veículo)									
Turno	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Moto	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Tarde	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,13	47,83	70,63

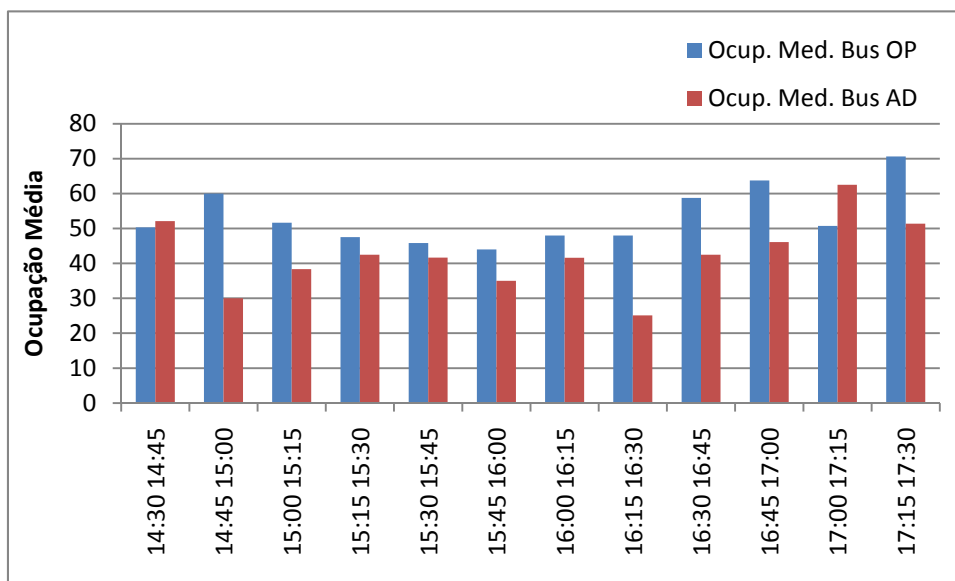


Figura 108 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Expresso Tiradentes

C. Ponto Especial 2: Eixo Ambiental – Bogotá, Colômbia

Neste ponto, o medidor de nível de pressão sonora foi posicionado no lado adjacente (AD) ao sentido Centro >> Bairro. A Figura 109 apresenta uma imagem aérea do ponto, bem como o local específico de instalação do medidor de nível de pressão sonora.



Figura 109 – Posicionamento do medidor de nível de pressão sonora: ponto Eixo Ambiental

A Tabela 25 apresenta o resumo dos indicadores de ruído mensurados neste ponto. Os níveis médios obtidos foram maiores do que os esperados. Isto porque,

independentemente do fluxo de veículos, existem os ruídos naturais da atividade urbana de difícil controle. Isto é, apesar de ser uma via onde só é permitido o tráfego de ônibus do transporte coletivo (Sistema TransMilenio) e com fluxo menor que 25 veículos / hora (conforme pode ser visto na Figura 112 e na Figura 113) existe o ruído dos empreendimentos comerciais lindeiros, bem como das pessoas transitando e conversando e ainda de outras vias próximas onde o tráfego veicular é normal.

Tabela 25 – Resumo de dados de ruído obtidos para o ponto Eixo Ambiental

Turno	Níveis Sonoros dB(A)							
	Min	L90Min	L90Max	LeqMin	LeqMax	L10Min	L10Max	Max
Manhã	54,7	58,3	61	67,823	71,102	69,8	74,4	86,5
Tarde	57,1	58,4	62,1	69	72,2	72,1	76,4	84,7

A Figura 110 apresenta a variação do Leq no turno da manhã no Eixo Ambiental, em Bogotá. Verifica-se que os valores foram praticamente constantes até às 11:45h, onde começaram a ocorrer variações um pouco mais significativas. Fato interessante é que nos intervalos de 11:45h às 12:00h e 12:45h às 13:00h os níveis de ruído foram menores. Ao se avaliar a Figura 112, verifica-se que, justamente nestes períodos, houve também uma redução do fluxo de ônibus.

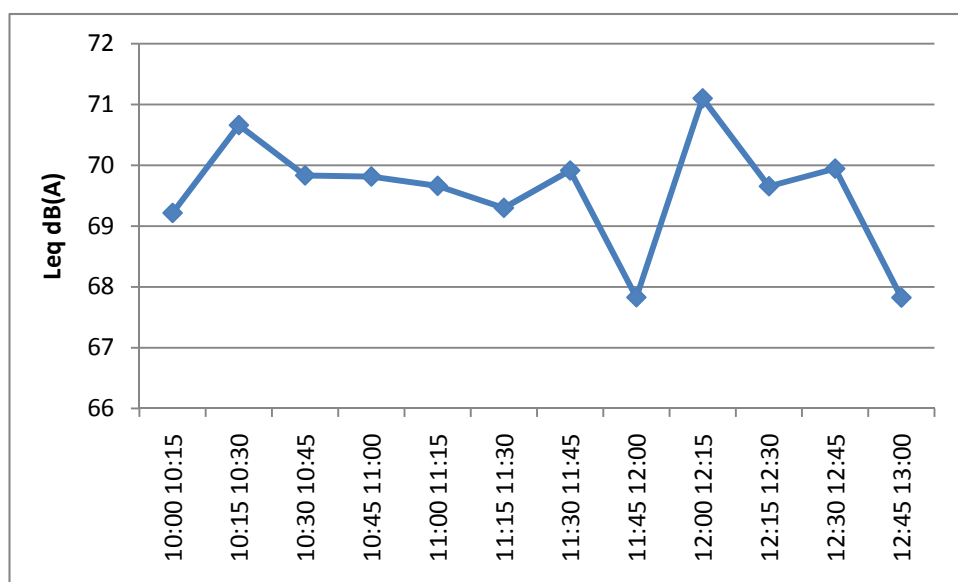


Figura 110 – Variação do Leq no turno da manhã no ponto Eixo Ambiental

Já a Figura 111 apresenta a variação do Leq no turno da tarde. De forma similar a fato destacado no turno da manhã, também à tarde o ponto com maior Leq teve um maior fluxo de ônibus, conforme pode ser visto na Figura 113.

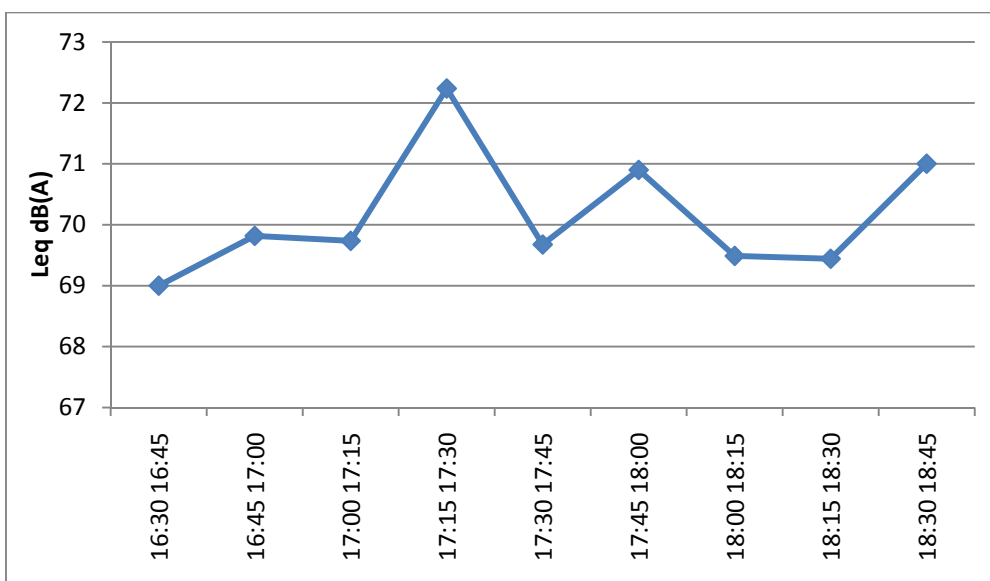


Figura 111 – Variação do Leq no turno da tarde no ponto Eixo Ambiental

A análise da Figura 112 permite verificar uma tendência de diminuição do fluxo com o início da tarde nos dois sentidos. Já a medição feita à tarde permite identificar um pico com início às 17:15h, conforme pode ser visto na Figura 113.

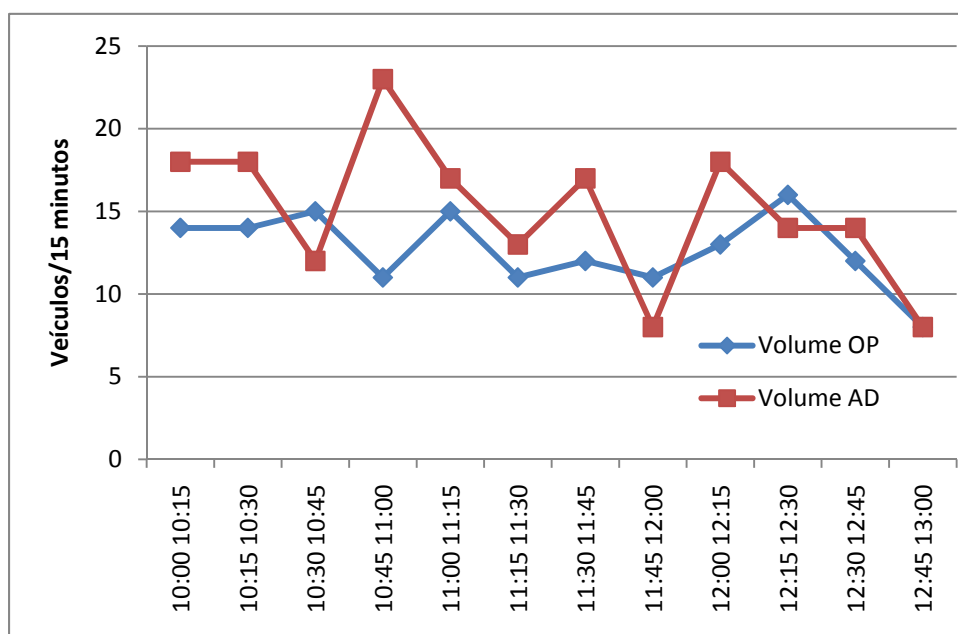


Figura 112 – Variação do fluxo de veículos no turno da manhã: ponto Eixo Ambiental

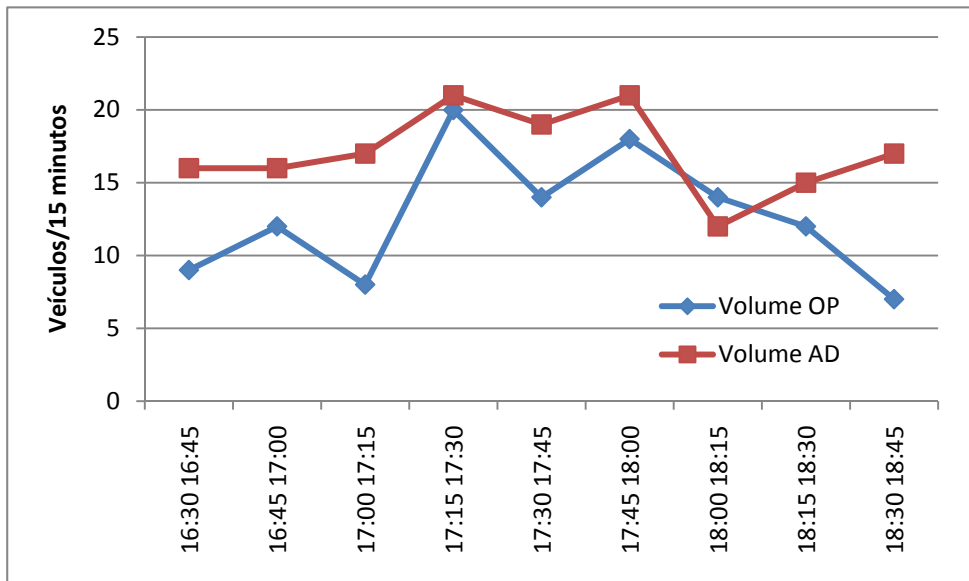


Figura 113 – Variação do fluxo de veículos no turno da tarde: ponto Eixo Ambiental

No que diz respeito às velocidades médias mensuradas no ponto, pode-se inferir que as mesmas são baixas e praticamente constantes, variando entre 10 km/h e 20 km/h no turno da manhã, conforme pode ser visto na Figura 114 e entre 10 km/h e 30 km/h no turno da tarde, conforme mostrado na Figura 115.

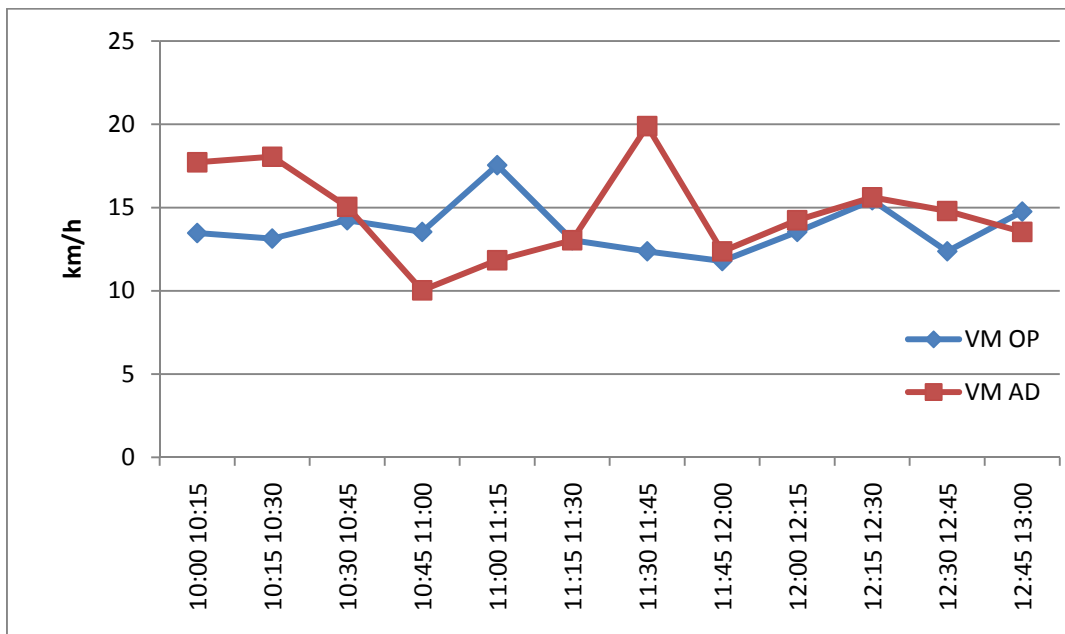


Figura 114 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da manhã no ponto Eixo Ambiental

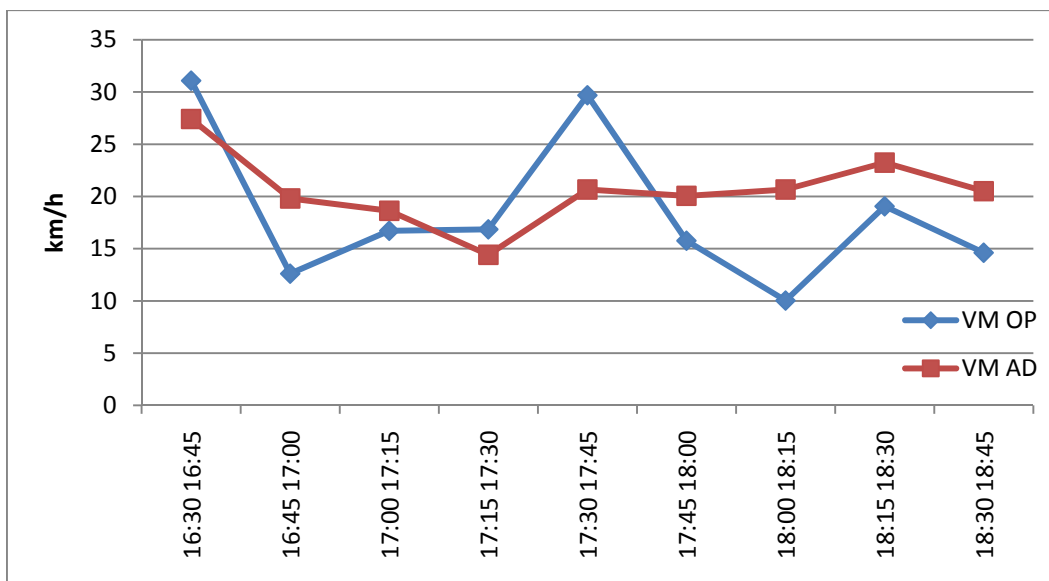


Figura 115 – Variação da velocidade média do fluxo de veículos no turno da tarde no ponto Eixo Ambiental

Com relação à ocupação média, a Tabela 26 apresenta o resumo deste indicador para este ponto. No turno da manhã, fora do pico, verifica-se valores mais baixos, enquanto no turno da tarde, o qual englobou o pico, as ocupações médias e máximas foram mais significativas, conforme esperado. E completando a análise da ocupação média, a Figura 116 apresenta a variação ao longo do período de medição, onde fica claro o pico da tarde, com a elevação das ocupações médias.

Tabela 26 – Resumo de dados de ocupação veicular obtidos para o ponto Eixo Ambiental

Turno	Ocupação Veicular (pessoas/veículo)								
	Min Auto	Med Auto	Max Auto	Min Moto	Med Motd	Max Moto	Min Bus	Med Bus	Max Bus
Manhã	0,0	0	0	0	0	0	9	18,89201	29,125
Tarde	0,0	0	0	0	0	0	27,5	62,72177	110

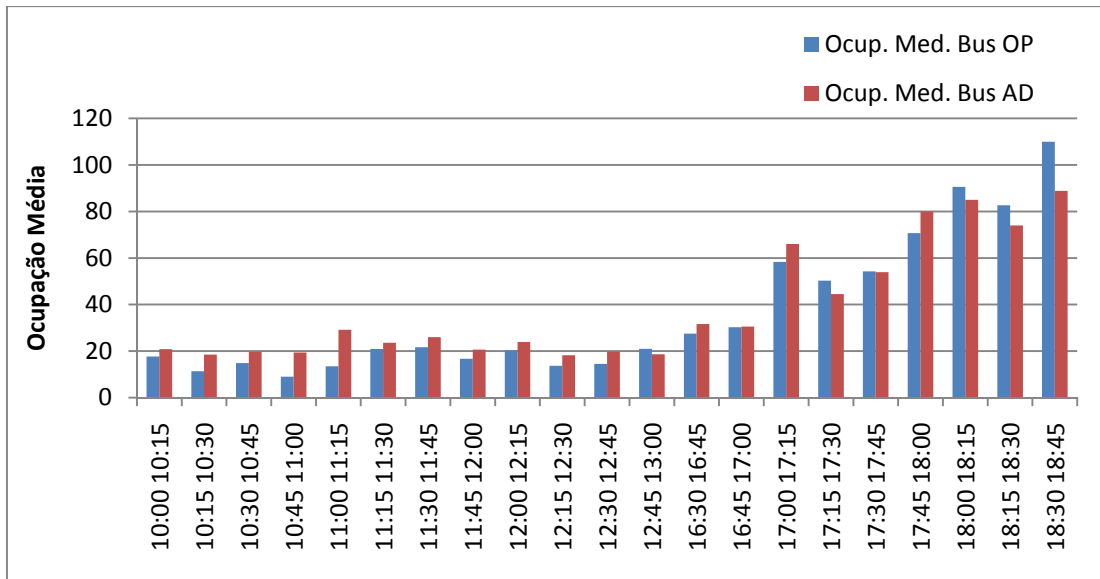
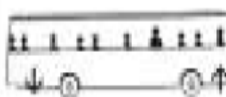
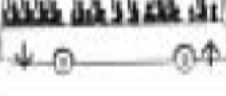


Figura 116 – Variação da ocupação média dos ônibus no ponto Eixo Ambiental

Anexos: Formulários de Pesquisa

Doutorado		Pesquisa de Ocupação														
Ponto:				Dia da Semana:				Tempo: () Bom () Nublado () Chuvoso								
Data:				Pesquisador:												
Local de contagem:				Sentido:												
Período	Auto (Adjacente)			Auto (Oposto)			Moto Ad.		Moto Op.		Ônibus - (Adjacente)		Ônibus - (Oposto)		Cód.	Gabarito para Registro Visual de Carregamento (Ocupação)
															1	Alguns Assentos ocupados  0-15 0-30 0-32
															2	Todos assentos ocupados e ninguém em pé  16-23 31-45 33-60
															3	Todos assentos ocupados e algumas pessoas em pé  24-27 46-55 61-91
															4	Todos assentos ocupados e muitas pessoas em pé  28-33 56-75 92-124
															5	Completamente lotado  34-40 76-95 125-140

Códigos dos Ônibus: O- Ônibus Padron Comum, M-Microônibus, A-Articulado

Doutorado		Contagem Classificada de Veículos										
Local:		Dia da Semana:				Tempo: () Bom () Nublado () Chuva						
Data:		Pesquisador:										
Local de contagem:						Sentido:						
Período	Auto	Ônibus	On. A.	Caminhão	Moto		Período	Auto	Ônibus	On. A.	Caminhão	Moto
05:00							16:00					
05:15							16:15					
05:15							16:15					
05:30							16:30					
05:30							16:30					
05:45							16:45					
05:45							16:45					
06:00							17:00					
06:00							17:00					
06:15							17:15					
06:15							17:15					
06:30							17:30					
06:30							17:30					
06:45							17:45					
06:45							17:45					
07:00							18:00					
07:00							18:00					
07:15							18:15					
07:15							18:15					
07:30							18:30					
07:30							18:30					
07:45							18:45					
07:45							18:45					
08:00							19:00					
08:00							19:00					
08:15							19:15					
08:15							19:15					
08:30							19:30					
08:30							19:30					
08:45							19:45					
08:45							19:45					
09:00							20:00					
09:00							20:00					
09:15							20:15					
09:15							20:15					
09:30							20:30					
09:30							20:30					
09:45							20:45					
09:45							20:45					
10:00							21:00					