

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

ANÁLISE DE MODELAGEM DE PREVISÃO ACÚSTICA E
MAPEAMENTO SONORO PARA A CIDADE DE SÃO CARLOS-
SP.

MARIENE BENUTTI GIUNTA

SÃO CARLOS - SP

2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**ANÁLISE DE MODELAGEM DE PREVISÃO ACÚSTICA E
MAPEAMENTO SONORO PARA A CIDADE DE SÃO CARLOS-
SP.**

MARIENE BENUTTI GIUNTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Léa Cristina Lucas de Souza
Coorientação: Prof. Dr. Eliane Viviani

SÃO CARLOS - SP

2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

G537am Giunta, Mariene Benutti.
Análise de modelagem de previsão acústica e mapeamento sonoro para a cidade de São Carlos-SP / Mariene Benutti Giunta. -- São Carlos : UFSCar, 2013. 155 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Planejamento urbano. 2. Conforto acústico. 3. Mapeamento sonoro. 4. Poluição sonora. 5. NMPB routes 2008. 6. Modelagem computacional e simulação. I. Título.

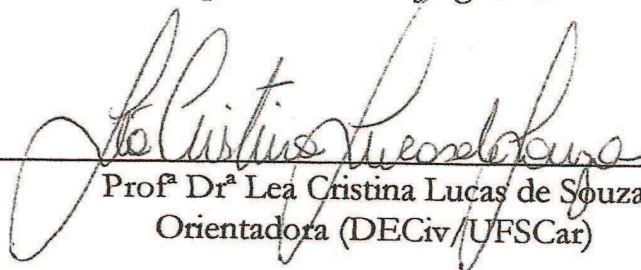
CDD: 711 (20^a)

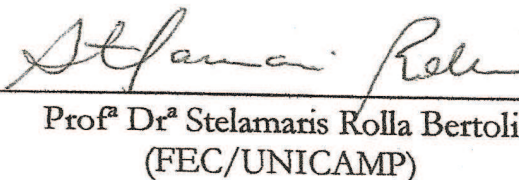


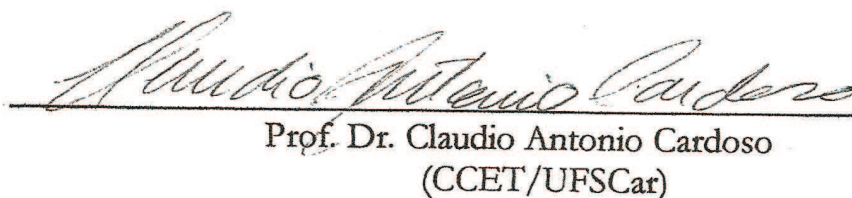
FOLHA DE APROVAÇÃO

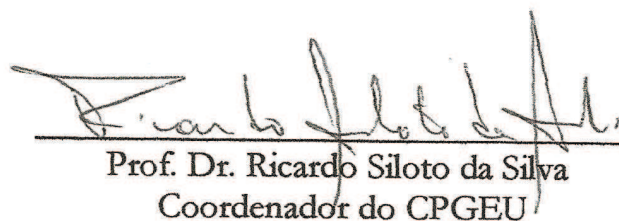
MARIENE BENUTTI GIUNTA

Dissertação defendida e aprovada em 22/04 /2013
pela Comissão Julgadora


Profª Drª Lea Cristina Lucas de Souza
Orientadora (DECiv/UFSCar)


Profª Drª Stelamaris Rolla Bertoli
(FEC/UNICAMP)


Prof. Dr. Claudio Antonio Cardoso
(CCET/UFSCar)


Prof. Dr. Ricardo Siloto da Silva
Coordenador do CPGEU

Dedico este trabalho a minha família e amigos. E um desejo de uma cidade melhor.

AGRADECIMENTOS

A professora Dra Léa Cristina Lucas de Souza, pela extrema confiança depositada em todos os momentos, pela compreensão e pelo auxílio durante todo o processo, não apenas no mestrado, mas desde a graduação até os dias de hoje, no incentivo de fazer o mestrado e um futuro doutorado. Pelo companheirismo, pelas viagens, pelas conversas. Mais que uma mestra para mim, uma amiga e quase uma mãe. Meus sinceros agradecimentos.

A professora Dra Eliane Viviani, pelas sugestões e colaborações dadas para o enriquecimento do projeto.

A Prof. Dra Stelamaris Rolla Bertoli pelas contribuições e sugestões, e principalmente pela disposição.

Ao prof. Dr Claudio Antonio Cardoso pelas colaborações dadas na banca de qualificação.

Ao Programa de Pós graduação em Engenharia Urbana: docentes, corpo técnico e alunos, me auxiliando e apoiando em todo o processo.

Aos amigos que fiz no PPGEU, mais que companheiros de jornada, foram grandes amigos e uma família em muitos momentos.

Aos que me ajudaram com o trabalho, diretamente ou indiretamente, principalmente ao aluno Fábio Mian, a Pós-doutoranda Márcia Suriano e ao Vítor Bécard da empresa 01dB(A).

Aos grupos que participei fora da universidade, principalmente ao grupo de teatro TUSP- São Carlos, que me deram uma força extra para eu continuar, que me acolheram e me ensinaram. Levarei comigo cada momento.

A tantos novos amigos que fiz em São Carlos, agradeço, pois de alguma forma colaboraram para a minha melhor estadia nessa jornada. Aos amigos de Bauru, agradeço pela compreensão da minha ausência por tanto tempo e por continuar me recebendo sempre de braços abertos.

A minha mãe e minhas irmãs por tudo sempre.

A Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e a Fapesp (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo), pelos apoios financeiros, que sem esses não seria possível à concretização deste trabalho.

“Ao contrário de outros órgãos dos sentidos, os ouvidos são expostos e vulneráveis. Os olhos podem ser fechados, se quisermos; os ouvidos não, estão sempre abertos. Os olhos podem focalizar e apontar nossa vontade, enquanto os ouvidos captam todos os sons do horizonte acústico, em todas as direções.” Murray Schafer

“Para o homem sensível aos sons, o mundo está repleto de ruídos.” Murray Schafer

RESUMO

A poluição sonora no meio urbano tem sido uma constante em muitas cidades brasileiras e é apontada pela Organização Mundial da Saúde como um dos problemas ambientais mais comuns nas cidades, afetando a qualidade de vida e degradando o meio ambiente. Nesse contexto, com intuito de prevenir impactos sonoros e diagnosticar áreas com conflitos acústicos já existentes para poder tomar medidas corretivas, o mapeamento sonoro é uma ferramenta de grande auxílio para o planejamento urbano. No entanto, os mapeamentos através de medições in loco ou através dos cálculos de modelos matemáticos manuais, além de demorados, são também dispendiosos. Uma alternativa para isso são os programas computacionais que simulam o ambiente acústico urbano com base em modelos de cálculos. Muitos países adotam seu próprio modelo e, no caso europeu, a Directiva 2002/49/EC pelo Parlamento Europeu e o Conselho recomenda a aplicação do modelo francês NMPB Routes-2008. Verificando a aplicabilidade desse mesmo modelo ao caso brasileiro, essa pesquisa tem por objetivo validar o comportamento do modelo de cálculo francês (NMPB Routes-2008) de previsão acústica para o caso específico da cidade de São Carlos, SP. Para isso foi aplicado o programa computacional Cadna-A e adotaram-se os seguintes procedimentos metodológicos: levantamento de dados; aplicação do modelo de cálculo estudado; análise de sensibilidade de cada parâmetro do modelo, comparação entre dados simulados e dados levantados com objetivo de validar o modelo; e desenvolvimento de um mapeamento sonoro preliminar para uma fração urbana da cidade de estudo. Os resultados finais indicaram que entre as simulações realizadas, aquela que apresentou mais precisão nos resultados correspondeu àquela para a qual o nível de pressão sonora equivalente foi utilizado como dado de entrada para a fonte sonora.

ABSTRACT

Noise pollution in urban environment is a constant in several Brazilian cities and it is pointed out by the World Health Organization as one of the most common environmental problems in cities, influencing the quality of life and degrading the environment. Nowadays, ways of mitigating the acoustical environment of houses, buildings, industries and other constructions are studied to insulate them from the external surroundings, but the costs of this insulation is still very high. As a consequence, the external environment is usually neglected and the sound is intensified, being too difficult to control and directly affecting the internal environments. In this context, aiming the prevention of sound impacts and the diagnosis of noise conflict areas to adopt corrective actions, a noise mapping is an important tool to help urban planning. The noise mapping by data collection in locus or by mathematical models are though time consuming. An alternative to this are the computational programs, which simulate the urban acoustical environment based on calculation models. Many countries adopt their own model and, in the European case, the Directive 2002/49/EC of the European Parliament and Council recommend the application of the French model NMPB Routes-2008. Verifying the applicability of this model in the Brazilian case, this research aims to validate the behavior of the French model (NMPB Routes- 2008). In order to do so, the computational program Cadna-A was applied, and the following methodological process was adopted: data collection, application of the calculation model, comparison between collected data and modeling data; model validation and calibration; and, development of a noise mapping to a preliminary area of the studied city. The final results indicate that among the simulations developed, the one presenting the most precise outputs corresponded to the one for which the equivalent sound pressure level was applied as the input of sound source.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Curvas isofônicas de Fletcher e Munson | 10 |
| Figura 2 - Curvas de ponderação A, B, C e D | 11 |
| Figura 3 - Comportamento da propagação sonora no meio urbano | 13 |
| Figura 4 - Perfil U da via com múltiplas reflexões. | 14 |
| Figura 5 - Condição meteorológica desfavorável e favorável à propagação sonora. | 40 |
| Figura 6 - Mapeamentos em 2D de diferentes escalas urbanas | 44 |
| Figura 7 - Visualização em 3D de mapeamentos sonoros | 44 |
| Figura 8 - Fluxograma da metodologia da pesquisa | 46 |
| Figura 9 - Localização da cidade de São Carlos. | 47 |
| Figura 10 - Localização da área de estudo em relação a cidade. | 48 |
| Figura 11 - Entorno da área de estudo..... | 49 |
| Figura 12 - Pontos de coleta separados em duas malhas. | 53 |
| Figura 13 - Pontos de coleta de dados nomeados com referência de ruas. | 54 |
| Figura 14 – Sonômetro da marca Brüel & Kjær, tipo Hand-Held Analyser 2250-L.... | 55 |
| Figura 15 - Distância de superfícies refletoras para medição sonora..... | 56 |
| Figura 16 – Dados de temperatura e umidade do ar de São Carlos | 57 |
| Figura 17 - Dados de precipitação de São Carlos..... | 58 |
| Figura 18 - Dados de velocidade do vento de São Carlos. | 58 |
| Figura 19 - Pontos de referência para Altitude, Latitude e Longitude..... | 59 |
| Figura 20 - Uso e Ocupação do solo..... | 60 |
| Figura 21 - Altura dos edifícios..... | 61 |
| Figura 22 - Perfil MM' topografia da Avenida São Carlos..... | 62 |
| Figura 23 - Perfil MM' | 62 |
| Figura 24 Caixa de configurações climáticas do Cadna-A - condição favorável | 64 |
| Figura 25 Caixa de configurações climáticas do Cadna-A - condição homogênea...64 | |
| Figura 26 Caixa de configurações climáticas do Cadna-A– default. | 64 |
| Figura 27- Caixa de configurações climáticas do Cadna-A– Aleatório..... | 64 |
| Figura 28 - Vista em 3D da área de estudo modelada no Cadna-A..... | 65 |
| Figura 29- Vistas em 3D da área de estudo..... | 66 |
| Figura 30 Caixa de configurações da fonte sonora no Cadna-A- Rodovias..... | 67 |

| | |
|---|-----|
| Figura 31- Caixa de configuração do tempo de referência no Cadna-A..... | 68 |
| Figura 32 - Área de estudo segmentada em três partes | 69 |
| Figura 33 - Receptores retirados das análises estatísticas. | 70 |
| Figura 34 - Isolinhas para o período da manhã..... | 77 |
| Figura 35 - Histograma para o período da manhã..... | 78 |
| Figura 36 - Isolinhas de ruído para o período do início da tarde | 79 |
| Figura 37 - Histograma para o período do início da tarde | 80 |
| Figura 38 - Isolinhas de ruído para o período do entardecer..... | 81 |
| Figura 39 - Histograma para o período do entardecer | 82 |
| Figura 40 - Perfil A e A' da Avenida São Carlos..... | 82 |
| Figura 41 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período da manhã: dados de entrada da simulação correspondendo à emissão da fonte dada por $Leq(A)$ | 106 |
| Figura 42 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período da manhã: dados de entrada da simulação correspondendo à fonte dada pelo fluxo de veículos 5min | 107 |
| Figura 43 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período do entardecer: dados de entrada da simulação correspondendo à emissão da fonte dada por $Leq(A)$ | 108 |
| Figura 44 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período do entardecer: dados de entrada da simulação correspondendo à fonte dada pelo fluxo de veículos 5min. | 109 |
| Figura 45- Visualização da propagação sonora em Corte BB' | 110 |
| Figura 46 - Visualização da propagação sonora em Corte CC' | 111 |
| Figura 47 - Comparação entre mapeamentos..... | 112 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB(A)* | 26 |
| Tabela 2 - Valores dB(A) e NC para ambientes. | 27 |
| Tabela 3 - Quadro de Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA..... | 28 |
| Tabela 4 - Quadro comparativo dos níveis admissíveis de ruído para ambientes externos em municípios brasileiros. | 32 |
| Tabela 5 - Frota de veículos da cidade de São Carlos de 2010..... | 50 |
| Tabela 6 - Configurações para análise de sensibilidade do modelo às variáveis de entrada | 72 |
| Tabela 7 - Correlações entre as simulações | 73 |
| Tabela 8 - Configurações das simulações para validação | 74 |
| Tabela 9 – Média dos valores coletados | 75 |

LISTA DE APÊNDICE

| | |
|---|-----|
| APÊNDICE A - Quadro de horário de coleta de dados acústico e tráfego - manhã | 128 |
| APÊNDICE B - Quadro de horário de coleta de dados acústico e tráfego - tarde.. | 129 |
| APÊNDICE C - Quadro de horário de coleta de dados acústico e tráfego - noite.. | 130 |
| APÊNDICE D - Quadro de topografia e localização geográfica, com destaque para o ponto mais baixo e mais alto, com base no Google Earth..... | 131 |
| APÊNDICE E - Níveis de pressão sonora para o período da manhã..... | 132 |
| APÊNDICE F - Níveis de pressão sonora para o período da tarde..... | 133 |
| APÊNDICE G - Níveis de pressão sonora para o período da noite..... | 134 |
| APÊNDICE H – Discriminação do destino dos receptores utilizados para a validação | 135 |
| APÊNDICE I - Análise 1 de sensibilidade do modelo à variável de condições meteorológicas | 136 |
| APÊNDICE J – Análise 2 de sensibilidade do modelo à variável tempo de amostragem de fluxo de veículos..... | 138 |
| APÊNDICE K - Análise 3 de sensibilidade do modelo à variável motocicletas como veículos leves ou pesados | 139 |
| APÊNDICE L - Análise 4 de sensibilidade do modelo à variável velocidade dos veículos | 140 |
| APÊNDICE M - Análise 5 de sensibilidade do modelo à variável tipo de pavimento | 141 |
| APÊNDICE N - Análise 6 de sensibilidade do modelo à variável inclinação da via | 143 |
| APÊNDICE O - Análise 7 de sensibilidade do modelo à variável cenário das edificações e altura do receptor | 144 |
| APÊNDICE P - Análise 8 de sensibilidade do modelo à variável fonte para 48 pontos de referência | 147 |
| APÊNDICE Q - Análise 9 de sensibilidade do modelo para a variável fonte para 17 pontos de referência..... | 148 |
| APÊNDICE R - Análise 1 de validação para entrada de fonte pelo fluxo de 5 minutos | 149 |

| | |
|--|-----|
| APÊNDICE S - Análise 2 de validação para entrada de fonte pelo fluxo de 1 hora | 150 |
| APÊNDICE T - Análise 3 de validação para entrada fonte fluxo de 5 minutos, com motocicletas na porcentagem de veículos pesados | 151 |
| APÊNDICE U - Análise 4 de validação para entrada de fonte de fluxo de 5 minutos com pavimento R3 | 152 |
| APÊNDICE V - Análise 5 de validação para entrada de fonte fluxo de 5 minutos, sem uso de declividade nas vias | 153 |
| APÊNDICE W - Análise 6 de validação para entrada de fonte de nível de pressão sonora equivalente com 48 pontos de referência..... | 154 |
| APÊNDICE X - Análise 7 de validação para entrada de fonte de nível de pressão sonora 17 pontos de referência..... | 155 |

Sumário

| | | |
|--------|--|-----|
| 1. | Introdução e Justificativa | 1 |
| 1.1. | Objetivos | 5 |
| 1.2. | Estruturação do trabalho | 6 |
| 2. | Ruído Urbano: Conceitos e características..... | 7 |
| 3. | O ruído no planejamento urbano e legislações..... | 19 |
| 3.1. | Contexto internacional..... | 19 |
| 3.2. | O contexto brasileiro | 22 |
| 3.2.1. | Leis, Normas e Regulamentações brasileiras relacionadas ao ruído urbano. | 24 |
| 3.3. | O contexto municipal..... | 29 |
| 3.4. | Discussões..... | 35 |
| 4. | Mapeamento e Simulação sonora | 36 |
| 4.1. | Importância e usos | 36 |
| 4.2. | Modelos para desenvolvimento de mapas de ruídos | 38 |
| 4.3. | O modelo NMPB Routes-96 e 2008..... | 40 |
| 4.4. | Software Cadna-A..... | 43 |
| 5. | O Estudo de Caso e a Metodologia | 46 |
| 5.1. | Delimitação e características da área de estudo..... | 47 |
| 5.2. | Levantamentos e Medições | 52 |
| 5.3. | Base de Dados e Simulações | 63 |
| 5.3.1. | Configurações do software Cadna-A | 63 |
| 5.3.2. | Testes de sensibilidade do modelo às variáveis de entrada | 71 |
| 5.3.3. | Análise de validação dos dados de saída | 74 |
| 5.4. | Mapeamento e Análise Acústica dos Resultados | 74 |
| 6. | Resultados e Análises | 75 |
| 6.1. | Tendências iniciais na distribuição espacial dos níveis de ruído..... | 76 |
| 6.2. | Simulação e Validação do modelo NMPB Routes 2008 | 84 |
| 6.3. | Mapeamento de ruído da área em estudo | 105 |
| 6.4. | Análise comparativa entre os métodos de mapeamento aplicados | 112 |
| 7. | Discussões e considerações | 114 |
| | Referências..... | 117 |

1. Introdução e Justificativa

A poluição sonora está em segundo lugar entre os estressores ambientais, dentre outros exemplos como a poluição da água e do ar, sendo apontada como um dos problemas ambientais mais comuns. É considerada não apenas um incômodo ambiental, mas uma ameaça para a saúde pública, afetando a qualidade de vida e degradando o meio ambiente (WHO, 2011).

O ruído, proveniente da ação antrópica, já faz parte da vida das pessoas, que, acostumadas com este problema, não percebem os efeitos maléficos que este pode causar em seu cotidiano (CARNEIRO, 2002).

O incômodo dos ruídos pode acarretar efeitos nocivos à saúde, ao sossego e à segurança do homem, acarretando tanto problemas físicos como psicológicos. Essa nocividade está relacionada à duração, repetição, horário e principalmente à intensidade do som (medida em decibel – dB(A)).

Dentre os problemas físicos causados pelo ruído, destacam-se: distúrbio no sono, distúrbio gástrico, alteração da capacidade auditiva, dor de cabeça, tonturas e distúrbios hormonais. Quanto aos problemas psicológicos, podem-se apontar: perda de concentração, perda de reflexos, irritação permanente, perturbação do sono, sensação de insegurança, cansaço, nervosismo e interferência na capacidade de aprendizagem das crianças (SANTOS et. al.,1994; WHO, 1999; LACERDA et.al., 2005; BISTAFA, 2011).

Hoje, são estudadas formas de melhorar acusticamente o ambiente das residências, edifícios, indústrias e outras edificações, isolando-as do meio externo, pois muitas soluções construtivas ainda apresentam um baixo desempenho acústico. Esse baixo desempenho pode ser verificado em alguns elementos construtivos, como apontam Neto e Bertoli (2009) ao analisarem o desempenho acústico de paredes construídas com blocos cerâmicos. Cornacchia et al. (2009), estudando o comportamento acústico de lajes de edificações residenciais, também

indicam que os níveis de isolamento ao ruído de impacto nas lajes estudadas estão abaixo dos níveis exigidos, tanto pela norma brasileira quanto pelas diretrizes europeias.

Abordando a preocupação na melhoria do desempenho acústico do edifício, Oiticica e Bertoli (2009, 2011) analisam o uso de peitoris ventilados muito utilizados no nordeste brasileiro e mostram que é possível conjugar questões bioclimáticas em um único projeto, podendo favorecer a redução do consumo de energia e estimular a integração do conforto térmico, lumínico e acústico.

Embora seja necessária a melhoria acústica dos ambientes construídos, o custo do isolamento dessas construções muitas vezes torna-se elevado e o som do ambiente externo acaba sendo desconsiderado. Por isso intensifica-se e torna-se difícil de controlar, afetando diretamente os ambientes internos.

Neste contexto, torna-se importante que a preocupação com o ambiente sonoro ultrapasse os limites físicos das edificações, estendendo-a aos espaços externos, públicos ou privados, pois o conforto no interior do edifício está condicionado às características acústicas do entorno próximo (NIEMEYER et al., 2005).

Dentre as diversas fontes de ruído, o tráfego de veículos nas vias urbanas é o mais frequentemente apontado como causador de incômodo (NUNES, 1999; ZANNIN et al., 2002; WHO, 2009; LIMA; MORAES, 2011).

No âmbito da cidade, a geometria urbana também é um fator de extrema influência no ambiente sonoro, devido às volumetrias das edificações, às alturas diferenciadas, aos cheios e aos vazios, às distâncias, aos recuos e à malha viária, interferindo diretamente na propagação sonora (GUEDES; BERTOLI, 2005).

A ambiência sonora de um determinado local, segundo Cabreira et al. (2009), é influenciada pelas intervenções arquitetônicas e urbanas sofridas por ele e seu entorno. Para Simões e Villanovas (2009), o desenho urbano pode contribuir ou prejudicar a qualidade acústica nas cidades.

Brioschi e Viveiros (2011) apontam a importância das decisões projetuais, como por exemplo, a definição do afastamento frontal dos edifícios na configuração dos ambientes sonoros urbanos. Dependendo da forma dos edifícios e da

localização do pedestre, os edifícios podem atuar como intensificadores da poluição sonora, com o acréscimo de mais de 3 dB(A) em alguns casos, ou atuar como barreiras sonoras, atingindo reduções acima de 4 dB(A).

As fontes de onda sonora podem ser ainda mais intensificadas ou atenuadas conforme as condições climáticas, em função dos ventos dominantes e da temperatura do meio (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006; BISTAFA, 2011).

A problemática do ruído não é apenas característica de cidades grandes, pois as cidades de médio porte já convivem diariamente com essa dificuldade. Costa e Lourenço (2010), por exemplo, apontaram que na cidade de Sorocaba-SP, apenas 7,3% da área por eles estudada ficou abaixo de 60 dB(A), que seria o limite estabelecido por norma. Em Taubaté-SP, segundo Brito e Sinder (2009), todos os pontos levantados ficaram acima da norma da ABNT, NBR 10.151:2000, estando entre 60 a 79 dB(A).

Essa problemática também não se restringe ao território brasileiro. Na Espanha são encontrados vários exemplos, como na cidade de Valladolid, com população total 315.000 habitantes. O estudo de Del Rio et al. (2011) para aquela cidade classificou 5 tipos de ruas, do maior ao menor movimento de veículos. Em cada tipo de via foram locados 11 pontos de medição e registrados níveis de ruído durante 15 minutos. Nas vias com maior movimento, a média foi de 75,1 dB(A), enquanto na de menor movimento foi de 59,6 dB(A).

Na cidade de Cáceres, também na Espanha, com população de 95.000 habitantes, foram encontradas as seguintes médias levantadas de 150 pontos em vias de diferentes fluxos: na de maior movimento, 74 dB(A); na de menor movimento, média de 60,2 dB(A) (MORILLAS et al, 2011).

Em Girona, norte da Espanha, com população total 94.484 habitantes, as médias encontradas para medições de 24h de duração foram de 63,3 dB(A), com intervalo de 47,9 a 72,9 dB(A). Para níveis noturnos, a média foi de 55,7 dB(A), com intervalo de 40,3 a 66,3 dB(A). Nesse caso foram levantados um total de 62 pontos em vias com edifícios nos dois lados (FORASTER et al, 2011).

Apesar de já poderem ser detectados problemas acústicos graves, as cidades de médio e pequeno porte assumem um papel fundamental, pois apresentam um

potencial mais propício ao tratamento preventivo dos ruídos do que as grandes cidades. Isso possibilita melhores condições para que índices mais adequados de qualidade de vida urbana sejam atingidos.

Na tentativa de serem melhores estudados e tratados os ruídos urbanos, vários modelos de predição de ruído vêm sendo desenvolvidos desde 1950, conforme discutido por Steele (2001). O desenvolvimento de modelos, no entanto, requer, muitas vezes, a fixação de condições específicas e limitações de aplicação, decorrentes da complexidade de interação entre os ruídos e o entorno urbano.

Um dos modelos preditivos mais disseminados e internacionalmente aplicados é o modelo francês denominado Novo Método de Previsão do Ruído do Tráfego (NMPB Routes-96 - *French Method for Road Traffic Noise Prediction*), indicado pela Directiva Europeia 2002/49/EC. Esse método vem sendo aperfeiçoado ao longo dos anos, tendo sua última atualização datada de 2008. Uma de suas vantagens é que atualmente alguns programas computacionais existentes no mercado permitem a sua aplicação direta para fins de mapeamento acústico e previsão de ruídos. No entanto, o seu uso não deve ser indiscriminado e deve ser precedido de uma avaliação para adequação às condições locais, uma vez que as limitações e condições sob as quais foi desenvolvido correspondem a outra realidade, podendo levar a discrepâncias na estimativa do ruído.

Assim, de forma geral, o enfoque dessa pesquisa se estabelece sobre discussões quanto à aplicabilidade desse método a uma cidade brasileira de porte médio.

1.1. Objetivos

Como objetivo principal, a pesquisa procura validar a aplicabilidade do modelo de cálculo francês, o NMPB Routes-2008 (revisão do *French Method for Road Traffic Noise Prediction*), para a simulação de um ambiente acústico de uma cidade brasileira de médio porte, a cidade de São Carlos, SP.

Como objetivos específicos destacam-se:

- discutir a aplicabilidade do método francês às condições específicas da área de estudo.
- efetuar um mapeamento sonoro de uma porção da cidade, sendo essa área a parte central da cidade;
- identificar possíveis zonas de conflitos de uso;
- iniciar uma base de dados para a melhoria na qualidade acústica da cidade e do planejamento sonoro urbano;

1.2. Estruturação do trabalho

Para a apresentação dessa pesquisa foi adotada uma estrutura em sete capítulos, nos quais é inicialmente estabelecido o embasamento teórico e posteriormente é desenvolvida a metodologia seguida dos resultados alcançados.

No primeiro Capítulo é feita a introdução do tema da pesquisa apresentando a problemática do ruído no meio urbano e justificativas dos aspectos relevantes deste trabalho, a descrição do objetivo geral e específicos.

O capítulo 2 fundamenta os conceitos acústicos envolvidos na área urbana, considerando os aspectos básicos de acústica, propriedades sonoras e o comportamento da propagação do som em relação ao meio urbano.

No capítulo 3 são apresentadas questões da problemática da poluição sonora e a relação com o planejamento urbano no âmbito internacional, nacional, estadual e municipal e as legislações que percorrem o tema nessas diversas escalas.

O capítulo 4 aborda o tema do mapeamento de ruído, as simulações sonoras e suas importâncias, mostra também, o método de cálculo utilizado na pesquisa NMPB Routes 96 e 2008, e o software Cadna-A utilizado para a simulação.

O capítulo 5 descreve o estudo de caso, a cidade de São Carlos- SP, e a metodologia utilizada na pesquisa, com a apresentação dos procedimentos referentes aos levantamentos, coletas de dados, simulações e análises.

O capítulo 6 aponta os resultados e análises decorrentes das medições sonoras, de tráfego, mapeamento em SIG, análises das simulações e um mapeamento de ruído para a área de estudo desenvolvido com o software de simulação acústica aplicado.

As conclusões e considerações sobre a pesquisa e resultados são elaborados no capítulo 7, que é seguido das referências e apêndices.

2. Ruído Urbano: Conceitos e características

Uma das questões básicas no estudo do ruído urbano é a diferenciação entre o termo som e o termo ruído. Para a compreensão dos aspectos envolvidos nos estudos acústicos, algumas definições e propriedades sonoras são apontadas nesse capítulo.

O *Som*, segundo Beranek (1969), é a ocorrência de um distúrbio que se propaga por um meio elástico, causando uma alteração na pressão do meio e um deslocamento em torno do ponto de equilíbrio das partículas, que pode ser reconhecido por uma pessoa ou por um instrumento. Ou seja, é a sensação produzida no sistema auditivo, ocasionada pelo fenômeno vibratório das partículas, resultante das variações da pressão no ar geradas por ondas sonoras. Gerges (1992) ainda ressalta que o deslocamento ocorre apenas na energia contida nas moléculas do meio.

As ondas sonoras são definidas como ondas mecânicas, pois para que haja a propagação do som é necessário um meio sólido, líquido ou gasoso. A velocidade (c) das ondas sonoras é influenciada pela temperatura do ar; a intensidade do som pela amplitude (γ) das flutuações das ondas ocasionada pelas diferenças de pressão; e a frequência (f), por sua vez, medida em Hertz (Hz), pela rapidez com que ocorrem as flutuações, ou seja, pelo número de oscilações ou ciclos em um determinado período (T) de tempo (SANCHO; SENCHERMES, 1982).

Para que seja audível ao ouvido humano, o som tem que estar entre uma faixa de frequência de 20 e 20.000 Hz.

Quanto à distinção entre som e ruído, pode estar na percepção subjetiva das pessoas ou no espectro da onda sonora emitida, porém constituem-se no mesmo fenômeno físico. Assim, o *Ruído* é considerado um som desagradável e indesejável, que, segundo Bistafa (2011), pode também ser definido como um som sem harmonia.

Nas cidades, o ruído pode ser emitido por diversas fontes simultâneas, causando a degradação da qualidade do ambiente urbano. Nesse caso atribui-se o termo *Ruído ambiente ou ambiental* àquele que resulta da superposição de ruídos de origens diversas, como os provenientes do tráfego de veículos, das indústrias e das atividades humanas de uma forma geral.

A intensidade acústica representa a energia acústica, podendo ser medida em W/m^2 ou por decibels. Neste último caso chama-se de nível de intensidade (equação 1 e 2). Para sons de uma mesma frequência, pode-se dizer que quanto maior é a intensidade, mais alto é o som (MOORE, 1988).

$$NI = \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{bels}) \quad \text{Equação 1}$$

ou

$$NI = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{decibels}) \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

I é a intensidade acústica em W/m^2

I_0 é a intensidade de referência = $10^{-12} W/m^2$

O nível de pressão sonora (NPS) representa, portanto, a variação da pressão atmosférica. São essas flutuações que o ouvido ou os microfones detectam e estabelecem o nível sonoro.

O NPS é a medida física preferencial para caracterizar a sensação subjetiva de intensidades de sons. Para facilitar a leitura e a manipulação dos dados, utiliza-se a unidade *Decibel (dB)*. Essa unidade representa a décima parte de um bel (unidade de intensidade física relativa ao som), que corresponde a uma escala logarítmica da pressão sonora. Nela se utiliza uma pressão de referência tomada normalmente a 1000 Hz como o limiar da audição $P_0 = 2 \times 10^{-5} Pa$ e o limiar da dor $P = 2 \times 10^2 Pa$ (BISTAFA, 2011). O nível de pressão sonora é proporcional ao quadrado da intensidade do som e pode ser descrito através das equações 3 e 4:

$$NPS = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} \quad \text{Equação 3}$$

ou

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_0} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

P é a pressão sonora em N/m² ou Pa

P₀ é o valor de referência de 0,00002 N/m² ou 2x10⁻⁵ Pa

Outro parâmetro acústico importante é o nível de potência sonora (NWS), definido pela equação 5:

$$NWS = 10 \log \left(\frac{W}{10^{-12}} \right) \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

W é a potência sonora (W)

10⁻¹² é a potência sonora de referência (W)

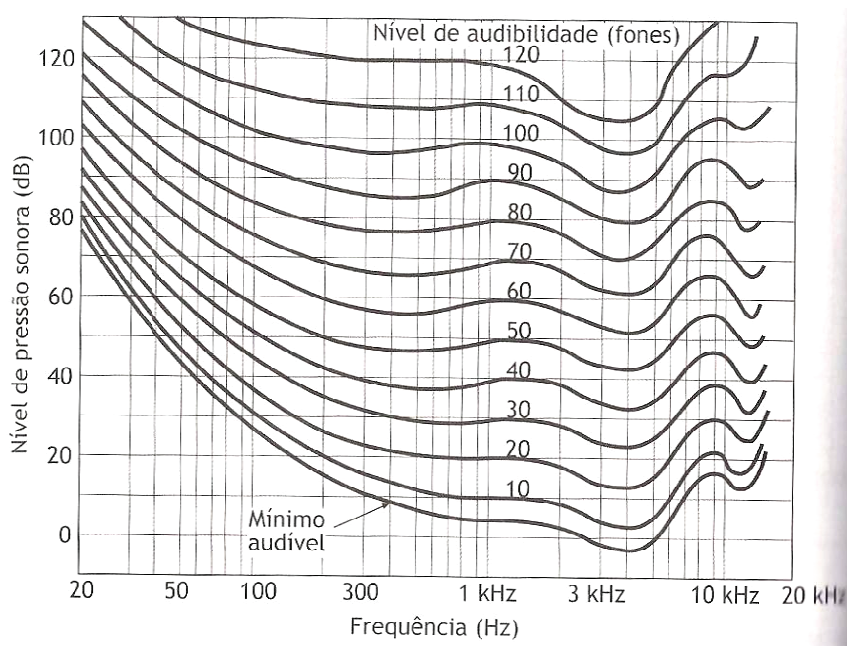
Os sons do cotidiano dificilmente são de tom puro (sons de única frequência), pois geralmente são uma composição de tons puros em diversas frequências, como é o caso do ruído ambiental no meio urbano. Analisando o espectro sonoro do som, sabe-se o valor da pressão sonora para cada frequência.

Para uma análise acústica, conta-se com o auxílio de instrumentos de medição sonora, chamados de sonômetros. Esse instrumento possui filtros que analisam o espectro sonoro por meio de faixas de frequências, chamadas de bandas de frequência, que possuem larguras pré-definidas e normalizadas (BISTAFA, 2011).

Em relação à largura da banda, os filtros podem ser de banda larga ou de banda estreita. Os filtros de 1/1 oitava e 1/3 oitava são exemplos de filtros de banda larga (GERGES, 1992).

Para cada frequência o ouvido humano também responde de forma diferenciada, sendo mais sensível a frequências mais altas (agudas), conforme pode ser verificado através das curvas isofônicas de Fletcher e Munson (Figura 1). O gráfico da figura representa o nível de audibilidade dos sons, devido à sensação subjetiva relativa a frequências sonoras, ou seja, representa a sensação auditiva provocada por um som no ouvido humano (ALMEIDA, 2009). Esta sensação é dada em função da frequência e do nível de pressão sonora que esse som produz. Observa-se ainda, na Figura 1, que as curvas isofônicas representam as curvas de igual sensação auditiva.

Figura 1 - Curvas isofônicas de Fletcher e Munson

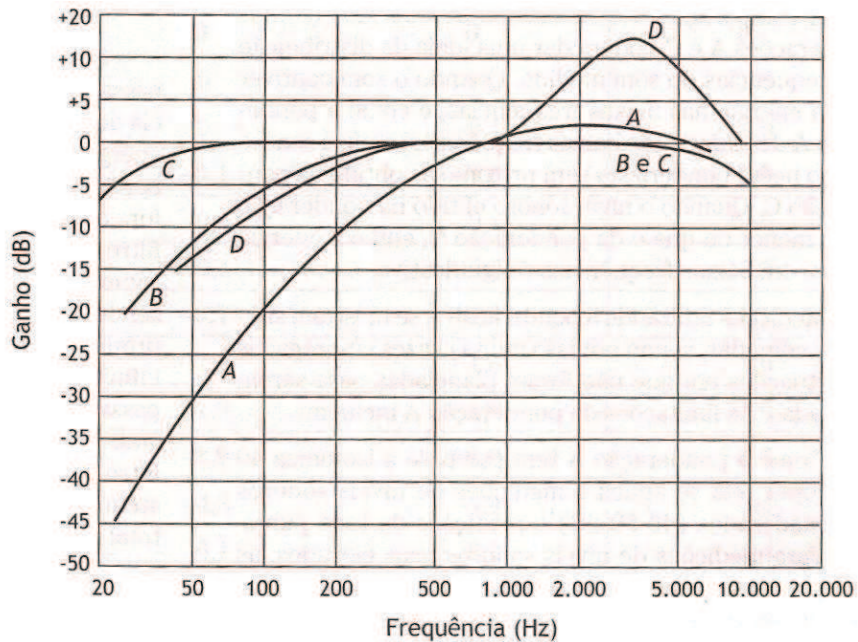


(Fonte: BISTAFA, 2011 adaptado da ISO 226).

Os aparelhos de medições sonoras, também utilizam filtros ponderadores, sendo eles do tipo A, B, C e D. Os filtros são utilizados em função dos níveis de ruído que serão analisados, para que a medição represente melhor a sensibilidade auditiva, uma vez que para sons mais intensos a sensibilidade se altera (SOUZA; ALMEIDA; BRAGANÇA, 2006). O filtro ponderador A representa a resposta do sistema auditivo para níveis sonoros moderados, utilizado como, por exemplo, no ambiente urbano para ruídos de tráfego rodoviário. Os filtros B, C e D são utilizados

para ruídos mais elevados, sendo o D específico para aeroportos. A Figura 2 representa as curvas de ponderação introduzidas pelos filtros no sonômetro e apontados em função das bandas de frequência.

Figura 2 - Curvas de ponderação A, B, C e D.



(Fonte: BISTAFA, 2011)

Para realizar a avaliação das condições acústicas no meio urbano, a NBR 10.151:2000 (ABNT, 2000) normaliza os parâmetros de medições para o ruído ambiental, aplicando o conceito de Nível de pressão sonora equivalente ponderado em “A” [$L_{eq}(A)$], no local e horário considerados.

O L_{eq} é o nível obtido a partir do valor médio quadrático da pressão sonora (com a ponderação A, $L_{eq}(A)$, referente a todo o intervalo de medição (ABNT, 2000), conforme indicado pela equação 6:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} \quad [\text{dB}(A)] \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

L_i é o nível de pressão sonora, em dB(A), lido em resposta rápida (fast) a cada 5 s, durante o tempo de medição do ruído;

n é o número total de leituras.

Além do nível $L_{eq}(A)$, outros parâmetros acústicos são utilizados no auxílio da avaliação do ruído ambiental, destacando-se os níveis estatísticos L10, L50 e L90. O *nível estatístico L10* é o nível sonoro que foi excedido em 10% do tempo de medição e permite identificar o ruído de pico (intrusivo). O *nível estatístico L50* é o nível sonoro que foi excedido em 50% do tempo de medição, portanto permitindo indicar o ruído mediano. O *nível estatístico L90* é o nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo de medição e é um indicador do ruído de fundo (BISTAFA, 2011). Por sua vez, considera-se *Ruído de fundo*, o nível sonoro que se mantém sem redução durante um intervalo de tempo de medição.

O valor de L_{eq} também pode ser obtido através dos níveis estatísticos, conforme as equações 7 e 8:

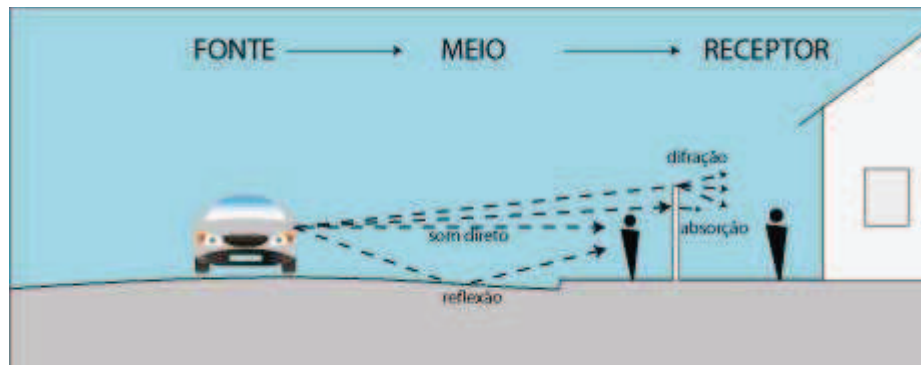
$$L_{eq} \cong L_{50} + \frac{(L_{10}-L_{90})^2}{60} \quad \text{Equação 7}$$

e

$$L_{eq} \cong L_{50} + \frac{(L_{10}-L_{50})^2}{15} \quad \text{Equação 8}$$

Para o estudo do comportamento do som no meio urbano, levam-se ainda em conta, a fonte de ruído envolvida, a trajetória que essa percorrerá e o receptor que captará as ondas sonoras. No meio urbano podem ocorrer diversas influências no percurso entre a fonte emissora e o receptor (Figura 3). A propagação ao ar livre é afetada por fatores como: distância percorrida, absorção atmosférica, reflexões, efeito da vegetação, efeito da topografia do solo, barreiras, espelhamento e também pelas variações nas condições atmosféricas como umidade relativa do ar, temperatura e ventos (GERGES, 1992).

Figura 3 - Comportamento da propagação sonora no meio urbano



(Fonte: Autora)

A compreensão dos mecanismos de propagação do som através da malha urbana é, portanto, elemento fundamental para o controle do ruído nas cidades (NIEMEYER; SLAMA, 1998).

Duas situações interferem na propagação ao ar livre: a presença de obstáculos na trajetória e os efeitos climáticos provocados principalmente pela temperatura e pelos ventos (GERGES, 1992).

As principais fontes emissoras urbanas provêm do tráfego de veículos (aéreos, rodoviários, ferroviários), das indústrias e das atividades humanas de uma forma geral. Dentre estas, podem ser encontradas fontes pontuais (buzina, motor sem deslocamento) e fontes lineares (como no caso de deslocamento de uma fonte com velocidade constante, como em tubulações). No caso do deslocamento de veículos em vias urbanas, pela constante troca de velocidades e paradas, alguns autores, como Moore (1988), consideram-na uma fonte mista.

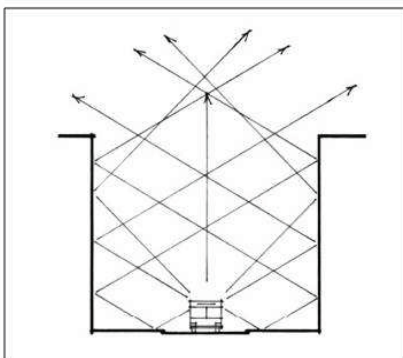
Na trajetória sonora no meio urbano, a interação entre as ondas sonoras e as superfícies urbanas pode provocar reflexão ou absorção, causando intensificação ou redução da energia sonora contida nos ruídos propagados.

Durante a propagação no ambiente externo, a energia originada pelas diversas fontes sonoras sofre alterações. Ao encontrar limitações, a energia sonora incidente é parcialmente refletida, voltando ao meio de incidência, parcialmente

absorvida pelo obstáculo e a energia restante é transmitida ao meio de propagação posterior ao obstáculo (NIEMEYER; SLAMA, 1998).

Na presença de materiais refletores e formas de superfícies que facilitem a concentração dos raios refletidos, a tendência é a intensificação dos raios sonoros. Como as tipologias dos perfis das vias apresentam frequentemente edificações de ambos os lados, com a ocorrência de ruas com perfis em U (Figura 4), há tendência de intensificação sonora no ambiente urbano.

Figura 4 - Perfil U da via com múltiplas reflexões.



(Fonte: NIEMEYER; SANTOS, 2001).

Essa intensificação pode levar a uma pequena reverberação, ou seja, quando existe um pequeno intervalo de tempo em que, mesmo a fonte sonora cessando sua emissão, o som continua perceptível devido ao prolongamento do som causado pelas inúmeras reflexões, até que decaia abaixo do nível perceptível.

Picaud et al. (2005) observaram um aumento no tempo de reverberação com o aumento da distância entre fonte e receptor. A atenuação sonora foi menor para as baixas frequências, pois a fachada dos edifícios favoreceu as reflexões de alta frequência, e as baixas frequências foram canalizadas dentro da rua. Já a atenuação sonora em relação ao nível da rua parece depender apenas da largura da rua e da altura das edificações.

Hincu (2003), em simulação para diferentes tipos de perfis de vias na cidade de Bucarena, na Romênia, verificou que para edifícios de até cinco pavimentos, o

Leq(A) foi igual ou menor que 70 dB(A). Para mais pavimentos, foi verificado que o nível equivalente foi ultrapassado, indicando a necessidade de utilizar medidas passivas e ativas de controle de ruído urbano.

Por outro lado, os sons podem ser atenuados no meio urbano, seja pela distância no percurso, seja pela absorção sonora que pode ocorrer em vários elementos das superfícies das cidades.

Uma das razões para esse decaimento pode ser a distância entre fonte e receptor, pois a energia contida na onda sonora, ao se propagar, vai se distribuindo em área cada vez maior, atenuando-se. Para uma fonte pontual, essa perda de energia corresponde a uma queda de 6 dB no nível de pressão sonora para cada duplicação da distância da fonte (conhecida como lei do inverso do quadrado da distância). Para uma fonte linear, o nível de pressão sonora decai 3 dB ao dobrar a distância da fonte. No caso de fontes mistas, esse decaimento pode ser considerado de 4 dB (Moore, 1988).

Pode ocorrer também a absorção pelo solo, que depende das características dos materiais. Solos macios, como terra, vegetação e pisos emborrachados, possuem maiores índices de absorção. Niemeyer e Santos (2001) recomenda o uso de vegetação nos solos de calçadas, recuos e taludes, pois apresentam índices de absorção acústica satisfatória. Simões e Villanova (2009) confirmaram esses resultados, quando verificaram que recuos com jardins promoveram atenuação sonora de 5,9 dB(A). Por outro lado, os recuos pavimentados de edificações estudados pelos mesmos autores não causaram atenuação sonora, embora houvesse distância da fonte, portanto, promoveram reflexão e intensificação.

Os ruídos urbanos podem ser minimizados para o receptor através de barreiras, como muros, taludes, elementos verticais, pela própria edificação ou conjunto de edificações. Beranek (1969) ressalta que para que seja eficaz, essa minimização depende da altura da barreira, da frequência da onda sonora, da distância da fonte e do ouvinte em relação à barreira e a altura desses elementos em relação ao solo. Malafaia et al. (2005) enfatizam a importância das barreiras acústicas aliada também à integração com seu entorno, com soluções plásticas na sua composição, que reduzam a interferência visual ou se adequem aos diferentes

meios de observação e condições climáticas, associadas ainda ao uso integrado da vegetação.

No caso de uso de vegetação como barreira acústica, deve haver um cinturão com não menos do que 15 metros de largura, e sua funcionalidade depende da proximidade da fonte (BISTAFA, 2011). Lisot et al. (2009 apud SAPATA, 2010) analisaram o desempenho da massa arbórea na atenuação do ruído urbano e obtiveram uma atenuação de 9,4 dB(A) a cada trinta metros de largura de vegetação. Os autores enfatizam que, para a vegetação oferecer um efeito de atenuação considerável do ruído, ela deve ser densa e extensa, as árvores devem ter uma altura de no mínimo 5 metros e uma faixa de 30 metros de largura, tendo densidade suficiente para obstruir o caminho visual entre fonte e receptor. Essas características podem permitir uma atenuação limite de até 10 dB(A).

Através do ar atmosférico uma pequena atenuação pode ocorrer pela própria absorção que o ar pode causar no som, devido ao efeito da viscosidade e de condução de calor durante o ciclo de pressão, nas sucessivas compressões e rarefações que ocorrem no processo. A relaxação molecular depende também da umidade, da temperatura e da pressão atmosférica (GERGES, 1992).

A temperatura do meio também pode interferir na propagação sonora, pois variando o nível térmico do ar, altera a densidade do meio, conseqüentemente modificando a velocidade da propagação do som (BISTAFA, 2011). Assim, temperaturas elevadas causam maior velocidade na propagação sonora, provocando a mudança de direção da frente de onda, empurrando-a na direção do solo. Ao contrário, sob temperaturas amenas, as frentes de ondas divergem, afastando-se do solo e criando nele sombras acústicas (GERGES, 1992).

Pelas condições de ventilação, o som também pode ser intensificado ou atenuado. O movimento do ar pode direcionar as ondas sonoras, intensificando o ruído, se o sentido de propagação da onda é igual ao sentido do movimento de ar. Caso contrário, o desvio da onda sonora provoca redução na energia sonora que chega ao receptor. Tanaka e Shiraishi (2008) propõem um método para prever o efeito do vento quando simulado em $L_{eq}(A)$ durante um ano, para condições de estrada complexas (por exemplo: estrada acidentada) e superfície do solo irregular. O método foi validado através de um experimento de campo. Os resultados

indicaram que o $Leq(A)$ para estradas pôde ser previsto com boa precisão, modificando a distância entre fonte e receptor e o vetor da direção dos ventos.

Em estudo de Van Renterghem e Botteldooren (2012), diferentes tipos de barreiras acústicas em relação à ação do vento foram analisadas. Os resultados apontaram que as paredes perderam sua eficácia para ventos fortes, enquanto que para taludes com determinadas inclinações e solos macios houve uma melhora na proteção, além de serem melhores ambientalmente e auxiliarem na questão psicoacústica.

Na cidade de Curitiba, Faccin et al. (2005) ainda demonstram a importância do estudo das frequências dos ruídos urbanos. Os autores analisaram as frequências do tráfego urbano em vias estruturais da cidade, identificando, assim, as frequências de maior ocorrência e de maior incômodo na comunidade, para que fosse proposto o tratamento dos edifícios de forma mais eficaz nas frequências apontadas.

Outra característica do ambiente acústico urbano é a ocorrência de *Difração* do som. Essa consiste na transposição de obstáculos, podendo a onda sonora mudar sua direção. Esta propriedade pode ocorrer no encontro da onda sonora com a parte superior de uma barreira, aberturas, vãos, degraus etc.

Esse fenômeno vem sendo estudado no sentido de avaliar e aprimorar os cálculos de simulação dos efeitos da difração no encontro de barreiras. Li e Wong (2005) revisaram diversos métodos para simular a difração que ocorre no encontro com as bordas das barreiras, como por exemplo, o modelo de cálculo de Hadden, Pierce e MacDonald. Em Menounou e Papaefthymiou (2010), foi analisado o modelo DLSSM (Directive Line Source Model) para verificar os efeitos da difração em barreiras finitas e infinitas, efeitos das sombras acústicas e efeitos do solo.

Além dos fenômenos físicos que geram toda a ambientação sonora urbana, a sobreposição dos sons pode dificultar a identificação de uma fonte sobre outra. Esse fenômeno é chamado de mascaramento do som. Em pesquisa realizada por Diniz (2003), ao analisar o ruído gerado por diversas subestações de energia elétrica, ficou constatado que em alguns casos estudados, o ruído gerado pela subestação durante o dia era mascarado pelo ruído do tráfego urbano. Porém à noite, quando o

tráfego diminuía, o ruído da subestação tornava-se mais evidente, incomodando a comunidade local e havendo a necessidade de enclausurar as subestações.

Concluindo, o desenho urbano possui papel fundamental na propagação sonora na cidade. Os índices de aproveitamento, perfil das vias, recuos, materiais utilizados e diversos outros fatores podem influenciar na propagação sonora. Devido a todas essas influências, o planejamento urbano é um fator de grande importância nas questões da poluição sonora, podendo muitas vezes evitar ou minimizar os níveis de ruído, a partir de decisões projetuais.

3. O ruído no planejamento urbano e legislações

A poluição sonora é apontada como um dos grandes problemas do mundo atual e o ruído considerado como um problema mundial de saúde pública. Estes são intensificados nas cidades, pois há incidência de múltiplas fontes sonoras presentes no cotidiano, como, por exemplo, o ruído de indústrias, veículos automotores, som de bares, danceterias, oficinas, construções, alto falantes e determinados cultos religiosos. Assim, são necessárias regulamentações para o exercício dessas atividades, de forma a permitir que a vida em sociedade seja tolerável (VENTURA et al., 2008; LIMA; MORAES, 2011).

3.1. Contexto internacional

O ruído é um fator historicamente incômodo, desde que as pessoas passaram a viver em cidades. Na antiga Roma já existiam regras acerca do ruído emitido pelas rodas das carroças em contato com as pedras das ruas, que causavam interrupções do sono e conseqüentes doenças nos cidadãos. Na Europa medieval havia proibições sobre andar a cavalo ou de carroças puxadas por cavalos durante a noite, a fim de assegurar o sono de seus habitantes (GTZ, 2006).

Desde 1980, nos EUA, a Agência de Proteção Ambiental estabeleceu critérios para proteger a saúde e o bem estar nas comunidades, enquanto a Organização Mundial da Saúde, em 1993, também publicou algumas recomendações nesse sentido.

Em 1998, a Comissão da União Europeia criou uma rede de profissionais na área de ruído para prestarem assistência no desenvolvimento de uma política de ruído. Em 2002, o Parlamento Europeu e o Conselho adotaram a Directiva Europeia de Ruído Ambiental (Directiva 2002/49/EC), que foi um passo significativo para o

controle do ruído urbano, obrigando os membros da União Europeia a produzirem mapas estratégicos de ruído para todas as aglomerações com mais de 250.000 habitantes.

Aquela Directiva exige que os planos de ação de ruído sejam elaborados pelas autoridades competentes para as principais rodovias, ferrovias e aglomerações. De acordo com o END (*Environmental Noise Directive*), os planos de ação referem-se a planos destinados a gerir os problemas e consequências do ruído, incluindo a redução de ruído (EU, 2002).

A Directiva exige também que os planos de ação sejam revistos, quando ocorre um grande desenvolvimento que possa afetar a situação de ruído já existente. Além disso, esses planos devem ser revisados a cada cinco anos após a data inicial de aprovação. Isto sugere a continuidade e evolução, além de considerar as mudanças importantes que são suscetíveis de afetar a paisagem sonora da área considerada.

Com a Directiva, é abordada a noção de planeamento acústico, referindo-se à questão da prevenção do ruído futuro, através de medidas de controle planejadas, como o ordenamento do território, a engenharia de sistemas de tráfego, o planeamento de tráfego, o isolamento acústico e o controle do ruído na fonte (EU, 2002). Assim, aponta o papel que os municípios podem desempenhar e um meio de mitigar o ruído futuro no ambiente.

Outro elemento de grande importância da Directiva diz respeito à consulta pública. As cidades são obrigadas a fazer um plano de ação participativo junto à população sobre as propostas, com participação assegurada desde a preparação até a revisão desses planos (EU, 2002). Além do mapeamento de ruído realizado pelas cidades, os municípios devem disponibilizar as informações de forma clara, compreensível e acessível para o público em geral (MURPHY; KING, 2011).

A Directiva também estabelece claramente um conjunto de requisitos básicos para o planeamento de ações de ruído e aponta uma série de medidas que podem ser usadas para a mitigação do ruído ambiente (MURPHY; KING, 2011).

King et al. (2011) apontam quatro fases importantes para se efetuar o planeamento acústico de uma cidade ou região, sendo elas:

- I. Mapas estratégicos de ruído
- II. Estimativa da população exposta ao ruído
- III. Planos de ação
- IV. Disseminação das informações para o público

Para cada etapa do planejamento acústico, a Directiva estipulou datas limites.

Os Estados membros teriam até julho de 2005 para tomar uma série de decisões sobre indicadores limites de ruído de cada área e determinação das áreas para as quais seriam realizados os mapeamentos. Nesse caso, em função do número de 250.000 habitantes e quantidades de veículos e trens nas rodovias e ferrovias (mais de seis milhões de passagens de veículos por ano e mais de 60.000 passagens de comboios por ano). Os mapas estratégicos de ruído para aquelas situações deveriam ser realizados até junho de 2007 (EU, 2002).

Em 2008 o mapeamento deveria ser feito para todas as rodovias e ferrovias importantes do seu território. Em 2012 os estados membros deveriam fazer os mapas estratégicos para todas as aglomerações, e a partir daí revisões a cada 5 anos (EU, 2002).

Como exemplo de inserção do planejamento acústico aliado aos planos diretores municipais na Europa, pode-se citar o Plano Diretor municipal da cidade de Tondela, Portugal (2009). Através do Regulamento Geral do Ruído (RGR), aquele plano determina que, na execução da política de ordenamento do território e urbanismo, deve ser assegurada a qualidade do ambiente sonoro na habitação, trabalho e lazer.

No Plano Diretor de Tondela a intenção é que o propósito seja atingido por meio de um planejamento acústico adequado dos espaços, num misto de prevenção e de proteção/controlado do ruído. Deve efetivar-se na delimitação de zonas onde os níveis de ruído não devem exceder patamares de admissibilidade. Assim, dentro do plano diretor municipal, há o Mapa de Ruído, onde são identificados os níveis de ruído ambiente característicos da área da cidade de Tondela (PORTUGAL, 2009).

3.2. O contexto brasileiro

A principal responsável pela transformação dos grandes centros urbanos em centros caóticos nas cidades brasileiras foi a urbanização, provocada principalmente pelo êxodo rural, aliada a um sistema do poder público falho, que não estava preparado para uma nova realidade. Esse sistema gerou para os cidadãos urbanos, além de uma vida marcada por habitações precárias, falta de acesso à infraestrutura básica, emprego, transporte, saúde, cultura e um espaço urbano dominado pelos agentes imobiliários. Isso fez com que a população menos favorecida economicamente fosse excluída da modernização (VASCONCELOS, 2007).

Em 1988, para a melhoria da questão urbana, a Constituição Federal Brasileira incluiu um capítulo específico para a política urbana. Nela foram previstos instrumentos que garantissem o direito à cidade, em defesa da função social desta e da propriedade, bem como a democratização da gestão urbana.

Especificamente na questão urbana, o texto constitucional requeria uma legislação de abrangência nacional, para que os princípios e instrumentos enunciados no capítulo da política urbana pudessem ser implementados. Entretanto, era necessária também uma legislação complementar de regulamentação dos instrumentos existentes. Assim, no ano de 2001, houve a regulamentação dos Artigos 182 e 183 da Constituição Federal, a partir da Lei Federal 10.257 de 19 de julho de 2001, conhecida como Estatuto da Cidade.

O Estatuto da Cidade veio estabelecer as diretrizes gerais da política urbana. Essas diretrizes são, entre outras, a garantia de cidades sustentáveis, oferta de serviços públicos adequados, ordenação e controle do uso do solo e, principalmente, a gestão democrática por meio da participação popular na formulação, execução e acompanhamento dos planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano.

Associados a isso, foram regularizados instrumentos de indução da política urbana, que têm a função de promover uma reforma urbana, através da reestruturação de uma política fundiária, para garantir a função social da cidade e da propriedade. Procura induzir a ocupação de áreas dotadas de infraestrutura e equipamentos mais aptos para urbanizar ou povoar, evitando a pressão de

expansão horizontal na direção de áreas não servidas de infraestrutura ou frágeis sob o ponto de vista ambiental.

Além disso, objetiva aumentar a oferta de terra e de edificação para atender à demanda existente. Com isto, os instrumentos visam evitar que aqueles que não encontram oportunidades de moradia nas regiões centrais sejam obrigados a morar nas periferias longínquas, em áreas desprovidas de infraestrutura, em áreas de risco de enchentes e/ou desabamentos ou em áreas de preservação ambiental.

Sobre a qualidade de vida dos habitantes das zonas urbanas, nos Artigos 36 a 38 do Estatuto, está previsto o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV). O EIV é parte integrante dos instrumentos de gestão, que tem sua regulamentação a cargo do município. Assim, cabe ao município determinar os tipos de empreendimentos que deverão apresentar estudo para obter licença de construção, como por exemplo: casas de show, shopping e templos religiosos (VASCONCELOS, 2007).

Esse instrumento permite avaliar os impactos causados pelos empreendimentos e atividades urbanas. Com base nessas análises, o município define sobre a possibilidade de implantação do empreendimento, tipo de atividade e locais indicados, ou seja, avalia a adequação da proposta na área requerida e a possibilidade dela ser absorvida pela mesma. Considera desta forma o meio ao qual o empreendimento será inserido, estabelecendo a relação cidade e empreendimento (VENTURA et al., 2008).

Segundo o Estatuto das Cidades, a maneira como são utilizados os imóveis urbanos – ainda que em consonância com a Lei – não diz respeito apenas à relação entre o proprietário do lote ou empreendimento e o poder público. Cada interferência na utilização ou ocupação de um determinado lote urbano produz impactos sobre seu entorno, podendo interferir diretamente na vida e na dinâmica urbana de outros. Quanto maior for o empreendimento, tanto maior será o impacto que ele produzirá.

Anteriormente ao estatuto, essa questão era apenas resolvida através do zoneamento, que possuía a função de garantir a proteção da população em relação aos usos incômodos, estabelecendo zonas homogêneas e permitindo determinados usos. Porém, o zoneamento por si só não é capaz de resolver todos os conflitos de

vizinhança, apesar de garantir a proteção da qualidade de vida de alguns bairros (MADRUGA, 2008).

Em bairros onde há permissividade de grandes empreendimentos, mesmo atendendo aos requisitos da Lei, esses podem provocar profundos impactos nas vizinhanças como, por exemplo, sobrecarga no sistema viário, saturação da infraestrutura de drenagem, esgoto, energia elétrica, telefonia, sombreamento e poluição sonora.

É sob esse ponto de vista que a questão da proteção contra o ruído pode ser inserida e integrada ao contexto do Estatuto da Cidade, com uma abordagem a partir dos EIV.

No entanto, apesar da existência do EIV como instrumento de gestão, na prática, as análises ainda estão mais restritas ao aumento do fluxo de veículos, requerendo alterações no sistema viário de forma a comportar a nova quantidade de veículos. Por consequência, há o aumento dos níveis de ruído e que tem relação direta com o acréscimo do fluxo de veículos, porém é negligenciado. Muitas vezes, não são tomadas medidas necessárias para avaliar, diagnosticar e remediar, se for o caso, o cenário acústico futuro dessas novas áreas.

No Brasil, em geral, não há grandes preocupações com o ambiente sonoro no meio urbano, havendo grande necessidade de serem ampliados os estudos sobre o tema. São necessárias medidas preventivas e ações corretivas no planejamento urbano, bem como a divulgação para a comunidade sobre o ambiente sonoro a que está exposta, para que haja também uma preocupação da sociedade em geral acerca da problemática.

3.2.1. Leis, Normas e Regulamentações brasileiras relacionadas ao ruído urbano.

As legislações ambientais brasileiras, nos níveis federal, estadual e municipal, vêm enfatizando, nas últimas décadas, a necessidade da conservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida da população, estabelecendo normas,

leis e regulamentações, que buscam controlar as intervenções humanas (NAGEM, 2004).

Como base para qualquer lei sobre ruído e poluição sonora no país, destacam-se as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujos conteúdos são de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ABNT/ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (CE), formadas por representantes dos setores envolvidos. Delas fazem parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Especificamente quanto à questão acústica, conta-se com a NBR 10.151:2000, que substitui a NBR 10.151:1987, Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Essa tem como objetivo fixar as condições exigíveis para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente da existência de reclamações. Especifica ainda um método para a medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos, se o ruído apresentar características especiais e uma comparação dos níveis corrigidos com um critério que leva em conta vários fatores.

A NBR 10.151:2000¹ além de introduzir definições específicas de acústica, ainda estabelece limites através do Nível de Critério de Avaliação (NCA) para ambientes externos, de acordo com o tipo de zoneamento de cada área e período. Os limites de horário para o período diurno e noturno (encontrados na tabela 1) podem ser definidos pelas autoridades, de acordo com os hábitos da população.

¹ A NBR 10.151:2000 está passando por processo de revisão, até o presente momento não está finalizada.

Tabela 1 - Nível de critério de avaliação NCA para ambientes externos, em dB*

| Tipos de áreas | Diurno [dB(A)] | Noturno [dB(A)] |
|--|---------------------------|----------------------------|
| 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 |

* O período noturno não deve começar depois das 22 h e não deve terminar antes das 7 h do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado, o término do período noturno não deve ser antes das 9 h. Para ambientes internos utiliza-se esse nível de critério de avaliação com a correção de - 10 dB(A) para janela aberta e - 15 dB(A) para janela fechada.

(Fonte: ABNT, 2000).

Outra norma relativa à acústica é a NBR 10.152:1987 - Níveis de ruído para conforto acústico. Esta objetiva fixar os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos. Nesse caso, esta norma aponta os níveis de ruído para cada ambiente, como apresentado na tabela 2.

Além das normas referidas, existem as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (tabela 3), que é o responsável por assessorar, estudar e propor diretrizes para o meio ambiente e deliberar sobre normas e padrões compatíveis com o meio ambiente ecologicamente equilibrado e essencial à sadia qualidade de vida (de acordo com o inciso II do art. 6º. da Lei nº. 6938 de 31.8.81).

Esse controle de poluição sonora se baseia nas normas da ABNT, NBR 10.151:2000 e NBR 10.152:1987, para as quais, valores que ultrapassem os estabelecidos por estas normas, em decibels, são considerados prejudiciais à saúde e ao sossego público. Os estados e municípios podem fixar valores mais rígidos para a proteção acústica de sua comunidade.

Tabela 2 - Valores dB(A) e NC para ambientes.

| Locais | dB(A) | NC |
|---|--------------|-----------|
| <i>Hospitais</i> | | |
| Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos | 35-40 | 30-40 |
| Laboratórios, Áreas para uso do público | 40-50 | 35-45 |
| Serviços | 45-55 | 40-50 |
| Locais | dB(A) | NC |
| <i>Escolas</i> | | |
| Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho. | 35-45 | 30-40 |
| Salas de aula, Laboratórios | 40-50 | 35-45 |
| Circulação | 45-55 | 40-50 |
| <i>Hotéis</i> | | |
| Apartamentos | 35-35 | 30-40 |
| Restaurantes, Salas de Estar | 40-50 | 35-45 |
| Portaria, Recepção, Circulação | 45-55 | 40-50 |
| <i>Residências</i> | | |
| Dormitórios | 35-35 | 30-40 |
| Salas de estar | 40-50 | 35-45 |
| <i>Auditórios</i> | | |
| Salas de concertos, Teatros | 30-40 | 25-30 |
| Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo | 35-45 | 30-35 |
| Restaurantes | 40-50 | 35-45 |
| <i>Escritórios</i> | | |
| Salas de reunião | 30-40 | 25-35 |
| Salas de gerência, Salas de projetos e de administração | 35-45 | 30-40 |
| Salas de computadores | 45-65 | 40-60 |
| Salas de mecanografia | 50--60 | 45-55 |
| Igrejas e Templos (Cultos meditativos) | 40-50 | 35-45 |
| <i>Locais para esporte</i> | | |
| Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas | 45-60 | 40-55 |

Notas: a) O valor inferior da faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto que o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.

b) Níveis superiores aos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar risco de dano à saúde.

(Fonte: ABNT, 1987).

Tabela 3 - Quadro de Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

| | |
|---------------------|--|
| nº 1 - 8 /03/1990 | Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. Considera como limites as normas técnicas das ABNT. |
| nº 2 - 8 /03/1990 | Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora (SILÊNCIO). Compete ao IBAMA a coordenação do Programa SILÊNCIO. Compete aos Estados e Municípios à implementação dos programas estaduais de educação e controle da poluição sonora, em conformidade com a resolução. |
| nº 1 - 11/02/1993 | Dispõe sobre os limites máximos de ruídos, com o veículo em aceleração e na condição parado, para veículos automotores nacionais e importados, excetuando-se motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores e bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados. |
| nº 2 - 11/02/1993 | Dispõe sobre os limites máximos de ruídos, com o veículo em aceleração e na condição parado, para motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores e bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados, nacionais e importados. |
| nº 17 - 13/12/1995 | Dispõe sobre os limites máximos de ruído para veículos de passageiros ou modificados. |
| nº 252 – 29/01/1999 | Dispõe sobre os limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento para veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais e importados. |
| nº 256 – 30/06/1999 | Dispõe sobre a responsabilidade dos órgãos estaduais e municipais de meio ambiente na inspeção de emissão de poluentes e ruídos, como exigência para o licenciamento de veículos automotores nos municípios abrangidos pelo Plano de Controle da Poluição por Veículos em Uso – PCPV |
| nº 272 -14/09/2000 | Dispõe sobre os limites máximos de ruído para os veículos nacionais e importados em aceleração, exceto motocicletas, motonetas, ciclomotores e veículos assemelhados. |

Outros órgãos que também possuem a função de fiscalizar e normalizar as perturbações sonoras são: o CONTRAN – Conselho Nacional de Trânsito, que fica responsável pelos ruídos provenientes dos automóveis, e o Ministério do Trabalho, que fica responsável pela emissão de ruídos produzidos no interior dos ambientes de trabalho. Todos estes estão de acordo com a NBR10.151:2000, da ABNT.

Além dessas normas e regulamentações, um meio para combater o ruído excessivo nos ambientes é o Código Civil brasileiro. Esse permite impedir o uso nocivo da propriedade e protege o indivíduo de atitudes consideradas nocivas, como as perturbações sonoras que prejudicam a saúde, o sossego e a segurança dos vizinhos e da comunidade. A poluição sonora constitui grave infração dos deveres de vizinhança.

Assim, o Art. 1.277 do Código Civil brasileiro diz: “O proprietário ou o possuidor de um prédio tem o direito de fazer cessar as interferências prejudiciais à segurança, ao sossego e à saúde dos que o habitam, provocadas pela utilização de propriedade vizinha”.

Ainda, a Lei das Contravenções Penais (Lei nº 3.688, de 3 de outubro de 1941), considera a poluição sonora uma contravenção referente à paz pública:

“Art. 42. Perturbar alguém, o trabalho ou sossego alheios: I - com gritaria ou algazarra; II – exercendo profissão incômoda ou ruidosa, em desacordo com as prescrições legais; III – abusando de instrumentos sonoros ou sinais acústicos; IV – provocando ou não procurando impedir barulho produzido por animal de que tem a guarda. Com pena de prisão simples de quinze dias a três meses ou multa”.

3.3. O contexto municipal

Na escala da cidade conta-se com a Lei Orgânica, que representa a lei máxima de um município. Conforme determinação da Constituição Federal, esta assegura que “os Municípios são unidades territoriais com autonomia política, administrativa e financeira, autonomia essa limitada pelos princípios contidos na

própria Lei Magna do Estado Federal e naquelas das Constituições Estaduais” (BRASIL, 1988).

A Lei Orgânica Municipal pode ser definida como sendo a Constituição Municipal, cuja principal função é a de organizar a Administração e a relação entre os órgãos do poder Executivo e Legislativo, disciplinando a competência legislativa do município, observando sempre as peculiaridades locais, bem como sua competência comum (BRASIL, 1988).

O conteúdo da Lei Orgânica Municipal é baseado nos princípios contidos na Constituição Federal e é destinado a orientar a organização política e administrativa. O município deve determinar quais as competências normativas municipais referentes aos assuntos de interesse local e complementar à legislação federal e estadual, bem como instrumentos relativos à preservação do meio ambiente.

O município, juntamente com a União, Estados e o Distrito Federal, é responsável por contribuir com ações que visem à proteção ambiental e o combate à poluição em qualquer de suas formas, auxiliando na preservação das florestas, da fauna e flora, podendo para isso legislar sobre a temática, desde que haja interesse local.

Desta maneira, fica por conta do município implementar, regularizar e fiscalizar as questões de poluição sonora no município, podendo utilizar as normas e resoluções já existentes ou implementar normas mais restritivas com características e necessidades locais.

Diversas cidades brasileiras em consonância com o Estatuto da Cidade preveem o instrumento do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV). Este faz a mediação entre os interesses privados dos empreendedores e o direito à qualidade urbana daqueles que moram ou transitam em seu entorno. O EIV tem como objetivo controlar os poluentes (atmosférico e sonoro) e diminuir o impacto causado à comunidade, além de outros instrumentos como o de zoneamento que também controla o conflito de áreas.

Devido à Lei Orgânica que passa ao município a competência de atuar nas questões de poluição sonora, algumas cidades brasileiras implementaram leis sobre o ruído urbano. Porém, algumas dessas leis são mais permissivas que as normas

federais e, nesses casos, devem ser usadas as mais restritivas. Por outro lado, para as cidades que não possuem nenhuma legislação específica, a regra é seguir o que as legislações federais apontam, no caso, as normas da ABNT e as resoluções do CONAMA.

Como exemplo, podem ser citadas as cidades de Belo Horizonte e de Salvador. Ambas apresentam o problema de disparidade entre as legislações municipais, estaduais e federais, havendo a necessidade de regulamentação nacional das leis para o combate e controle do ruído. Um quadro comparativo entre cidades pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 - Quadro comparativo dos níveis admissíveis de ruído para ambientes externos em municípios brasileiros.

| Zona de uso (definida de acordo com a NBR 10.151:2000) | Períodos | ABNT | Florianópolis - SC | João Pessoa - PB | Santa Maria - RS | Belo Horizonte - BH | Rio de Janeiro - RJ | Salvador - BA |
|--|------------|-----------------|--------------------|------------------|------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| | | Limites [dB(A)] | | | | | | |
| Áreas de sítios e fazendas | Diurno | 40 | - | 55 | 55 | - | 45 | 70 |
| | Vespertino | - | - | 50 | 50 | - | - | 70 |
| | Noturno | 35 | - | 45 | 45 | - | 40 | 60 |
| | Noturno2 | - | - | - | - | - | - | - |
| Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas | Diurno | 50 | 55 | 55 | 55 | 70 | 55 | 70 |
| | Vespertino | - | 50 | 50 | 50 | 60 | - | 70 |
| | Noturno | 45 | 45 | 45 | 45 | 50 | 50 | 60 |
| | Noturno2 | - | - | - | - | 45 | - | - |
| Área mista, predominantemente residencial. | Diurno | 55 | 60 | - | 60 | 70 | - | 70 |
| | Vespertino | - | 55 | - | 55 | 60 | - | 70 |
| | Noturno | 50 | 50 | - | 55 | 50 | - | 60 |
| | Noturno2 | - | - | - | - | 45 | - | - |
| Área mista, com vocação recreacional | Diurno | 60 | 65 | 65 | 65 | 70 | 65 | 70 |
| | Vespertino | - | 60 | 60 | 60 | 60 | - | 70 |
| | Noturno | 55 | 55 | 55 | 55 | 50 | 60 | 60 |
| | Noturno2 | - | - | - | - | 45 | - | - |
| Área predominantemente industrial | Diurno | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 |
| | Vespertino | - | 60 | 60 | 60 | 60 | - | 70 |
| | Noturno | 60 | 60 | 60 | 60 | 50 | 65 | 60 |
| | Noturno2 | - | - | - | - | 45 | - | - |
| *Cada legislação municipal define um determinado horário para cada período | | | | | | | | |

(Fonte: Autora)

Na cidade de Salvador – BA, a legislação municipal para salvaguardar o ambiente acústico (Lei nº 5.354/98) é chamada de “Lei do Silêncio”. Segundo Souza e Carvalho (2011), foram identificadas algumas disparidades confrontando as NBR 10.151:2000 e 10.152:1987. Para cerca de 90% das situações analisadas, os valores da Lei nº 5.354/98 são menos restritivos, quando comparados aos da NBR

10.151:2000 e aos da Norma técnica NT-001/95 (Resolução nº1150/95 da Legislação Estadual da Bahia). Os autores também confrontam os valores máximos apresentados pela NBR 10.152:1987 com os da legislação municipal de Salvador para ambientes internos. Nesse caso observaram uma disparidade de valores em aproximadamente 80% dos padrões. Há em média um acréscimo de 10 dB(A) na lei municipal, correspondente ao período diurno (SOUZA; CARVALHO, 2011).

No caso de Minas Gerais, dispõe-se da Lei Estadual Lei nº 7.302, de 21 de julho de 1978 sobre a Proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais, e a Lei nº 10.100, de 17 de janeiro de 1990, que altera a redação do 2º artigo da lei anterior. A cidade de Belo Horizonte, possui a Legislação Municipal de nº 9.505 de 23 de janeiro de 2008 sobre o Controle de ruídos, sons e vibrações no município de Belo Horizonte. Ambas estabelecem limites dos níveis de pressão sonora segundo o período e nenhuma delas leva em consideração o zoneamento geográfico.

Nota-se, tanto na legislação estadual mineira quanto na municipal, um descaso com as áreas que deveriam ser menos ruidosas, tratando-as de forma igualitária em relação a todas as outras regiões dentro do zoneamento da cidade. Além disso, os níveis permitidos excedem aos da norma federal recomendada.

Outro caso é a cidade do Rio de Janeiro, para a qual a Lei nº 3.268, de 29 de agosto de 2001, dispõe sobre as condições físicas de proteção da coletividade contra a poluição sonora. Embora a Lei Municipal esteja em consonância com as Normas brasileiras, França et al. (2011) apontam uma problemática que vai de encontro com as questões sonoras. A cidade possui grandes concentrações de conjuntos habitacionais de baixa renda instalados nas áreas de Zona Industrial e/ou próximos de fontes sonoras de grande impacto, como por exemplo, eixos viários de grande porte. Isso faz com que essa população fique exposta a ruídos que, pela inadequação do zoneamento, ferem os direitos desses moradores, não havendo como garantir o conforto no interior da unidade habitacional.

Em Florianópolis - SC, a Lei Complementar CMF nº 003/999 (1999), dispõe sobre os ruídos urbanos e a proteção do bem estar da saúde pública. Nessa legislação, são estabelecidos os limites máximos permissíveis de ruídos. A Fundação Municipal do Meio Ambiente – FLORAM, juntamente com os órgãos

competentes, estabelecem medidas para a eliminação ou minimização dos distúrbios sonoros que vierem a ultrapassar os níveis fixados na lei (NARDI, 2008).

Em Santa Maria - RS, a Legislação Municipal referente aos limites estabelecidos para predição ao combate à poluição sonora, é tratada no Código de Posturas de Santa Maria – RS, que estabelece valores segundo o zoneamento como demonstrado na tabela 4.

Na cidade de Santa Maria foram realizadas duas pesquisas na mesma área de estudo, acerca de dados acústicos e de tráfego: uma em 1998 e outra em 2006. Ambas as pesquisas demonstraram níveis considerados muito elevados em relação ao código de posturas de Santa Maria e legislações pertinentes, com valores entre 70 e 80 dB(A) em todos os horários estudados (MENDONÇA, 2009).

Na cidade de João Pessoa-PB, em relação ao ruído, foi criada a Lei nº 29 de 05 de agosto de 2002 no Código do Meio Ambiente Municipal, regulamentada pelo Decreto nº 4.793, de 21 de abril de 2003. Aquela aborda o nível permitido de pressão sonora e passa a responsabilidade de controle, prevenção e redução da emissão de ruídos no município para a Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SEMAM), utilizando como base as normas da ABNT e as regulamentações do CONAMA.

Em João Pessoa-PB, ainda incluiu-se um programa de educação ambiental e conscientização da população, com campanha contra poluição sonora intitulada: “Cidade com som alto, educação lá embaixo”, com o número de telefone à disposição da população para as denúncias necessárias (MADRUGA, 2008).

Destaca-se que os parâmetros de zoneamento, suas classificações e definição de períodos em cada caso são tratadas de forma diferenciada, dificultando o processo de comparação entre cidades com a Norma brasileira. Mas salienta-se que a norma mais restritiva em todos os casos é o que deve prevalecer perante a outra.

3.4. Discussões

A diversificação de funções na cidade, muito discutida entre urbanistas, é aconselhada pela otimização da infraestrutura urbana, seja na diminuição do uso de transportes motorizados e individuais na cidade, seja no sistema de saneamento (água, esgoto e resíduos) ou ainda na estrutura da cidade em si (pavimentação, sistemas elétricos etc.). Assim são utilizadas áreas já dotadas de infraestrutura, tornando a cidade mais sustentável, ao invés de expandir horizontalmente para áreas sem nenhuma infraestrutura. Isto inclusive é aconselhado pelo Estatuto da Cidade.

Porém, apesar de muitos benefícios que essa forma urbana prevê, assuntos como qualidade do ar e qualidade sonora são muitas vezes ignorados e deixados de lado. Quanto maior a concentração de veículos motorizados, corredores de ônibus, edifícios altos concentrados, falta de arborização, de praças e de parques, mais acentuadas são essas problemáticas. O tráfego de veículos em vias urbanas, aliado à consequente poluição do ar, representam os maiores causadores da poluição urbana.

Decorre das disposições legais, a necessidade de planejar adequadamente as novas zonas urbanas, de modo que, uma vez construídas, os impactos sonoros, ambientais e o tráfego decorrentes respeitem os limites de ruído estabelecidos. Essa condição implica na capacidade de prever e avaliar os resultados de diferentes opções do planejamento, o que torna indispensável o recurso a métodos de cálculo confiáveis. Isso implica também na inclusão de novos profissionais (com conhecimentos em ruído) nas equipes que desenvolvem os Planos Diretores Municipais de ordenação do território. É necessário, todavia, que, desde os primeiros traços dos planos, exista a noção das implicações que a problemática do ruído cria (CARVALHO, s.d.).

4. Mapeamento e Simulação sonora

4.1. Importância e usos

Através da coleta de dados relacionados com a poluição sonora urbana e sua relação com a vida diária dos habitantes, pode-se, com a iniciativa privada e governamental, promover formas de informar, conscientizar sobre riscos relacionados às exposições diárias aos altos níveis de ruído, envolver a cidade nas possíveis soluções dos problemas, tanto específicos quanto gerais, e introduzir o fator poluição sonora no planejamento urbano da cidade (VENTURA et al., 2008).

No Brasil, a ferramenta de mapeamento sonoro para a avaliação da situação dos níveis de ruído na cidade é pouco difundida, porém há alguns exemplos de cidades que vêm estudando e realizando esses mapas de ruído, como pode ser visto na pesquisa de Moraes et.al. (2003), na cidade de Belém – PA, em Sorocaba – SP (COSTA; LOURENÇO, 2011), Curitiba – PA (CANTIERI, et al 2010) e Rio de Janeiro -RJ (PINTO; MARDONES, 2009).

Na pesquisa em Belém - PA, demonstra-se, através do mapeamento sonoro, que em toda a zona comercial da cidade os níveis de ruído alcançados ultrapassam os índices máximos recomendados pelas Normas de qualidade vigentes no país. Fica claro que a comunidade local, exposta diariamente a elevados níveis de ruído, num período não inferior a 8 horas diárias, poderá sofrer danos na saúde auditiva psíquica, ou mesmo física, ao longo do tempo (MORAES et.al., 2003).

Em Sorocaba - SP, Costa e Lourenço (2011) realizaram um estudo piloto na região central da cidade, em que os resultados confirmam a necessidade de incluir a questão acústica como um indicador no planejamento ambiental.

Cantieri et.al. (2010), no mapa de ruído da região central de Curitiba - PR, apontam que os níveis de pressão sonora, em alguns pontos, chegam a cerca de 80 dB(A), excessivamente acima do indicado pela NBR 10.151:2000. Os autores ainda

afirmam que esta técnica de mapeamento de ruído, proporciona a construção de um plano de ação para controle do ruído, o que acaba sendo também uma importante ferramenta econômica para evitar o desperdício de dinheiro com ações de prevenção e correção em áreas indevidas. Seu uso também possibilita uma melhoria da qualidade de vida para cidadãos e das condições de trabalho para aqueles que levam suas vidas profissionais em grandes centros urbanos.

No Bairro de Copacabana, no Rio de Janeiro - RJ, área de grande interesse turístico, também houve um estudo realizado por Pinto e Mardones (2009), utilizando mapas de ruído e modelagens de previsão sonora. Na pesquisa os resultados demonstraram que o ruído ambiental é uma questão importante na cidade do Rio de Janeiro, já que o setor se caracteriza por uma elevada densidade populacional e tráfego pesado de veículos de diferentes tipos, apresentando níveis de fundo superiores ao recomendado pela regulamentação brasileira. A análise dos resultados mostrou que os níveis de ruído em todos os pontos medidos em Copacabana estão acima dos valores permitidos.

Os mapas de ruído podem ser produzidos para diferentes finalidades, dentre as quais a mais comum é para a identificação de pontos ou áreas críticas. Outro objetivo importante dos mapas de ruído é ajudar a controlar a evolução do ruído no tempo e comparar esta evolução com uma meta desejada (MARDONES, 2009).

Santos e Valados (2004) mostram várias formas de utilização dos mapas de ruído como ferramentas para complementar o planejamento urbano municipal e territorial. Por exemplo, permitem:

- Quantificar o ruído nas áreas de estudo, possibilitando a avaliação da exposição da população a esse ruído;
- Ampliar e disponibilizar a base de dados do município com a localização de atividades ruidosas e de zonas mistas e sensíveis;
- Possibilitar a criação de modelos diferentes com cenários futuros de evolução e realizar a previsão do impacto sonoro de infraestruturas e atividades ruidosas ainda em projeto, em nível municipal, regional ou mesmo nacional;

- Identificar zonas de conflito entre os níveis de ruído existentes e a classificação da zona, hierarquizando zonas por prioridade de intervenção e estabelecendo um Plano de Redução de Ruído;
- Testar soluções diversas como redução de velocidade ou de volume do tráfego em certas artérias, alteração do tipo de pavimento de uma via, introdução de taludes e vegetação para proteção sonora, introdução de rotatórias no lugar de cruzamentos com semáforos;
- Identificar as principais fontes de ruído para um dado receptor, ou conjunto de receptores, e especificar qual a redução de ruído necessária em cada fonte para atingir um dado nível de ruído total no receptor.

A tecnologia de mapeamento sonoro demonstra ser um excelente meio para lidar com o problema da poluição sonora. Soma-se a isso o fato das simulações serem ferramentas poderosas para aplicação no planejamento urbano.

Para a sua aplicação, deve-se ter o conhecimento prévio ou identificar os parâmetros da área estudada, como topografia, altura dos edifícios e largura de vias, para servirem de base para a representação correta do efeito físico da propagação sonora.

Outro parâmetro de grande importância a ser levantado é a contagem de tráfego na área urbana estudada e sua composição, identificando veículos leves, pesados (caminhões e ônibus) e motocicletas.

4.2. Modelos para desenvolvimento de mapas de ruídos

Para realizar os mapeamentos sonoros somente através de medições in loco ou ainda através dos cálculos de modelos matemáticos manuais, além de muito demorado, é também muito dispendioso. Assim, hoje se utilizam programas computacionais que simulam o ambiente acústico urbano através de modelagens.

Segundo Steele (2001), provavelmente o modelo mais antigo de cálculo de ruído proveniente do tráfego rodoviário foi o Manual de Controle de Ruído Acústico

(Handbook of Acoustic Noise Control) em 1952. No ano seguinte houve uma revisão por Galloway et al. (1969 apud STEELE, 2001), adicionando o cálculo de diferenciação do tipo de veículo com a consideração de veículos pesados no algoritmo. O autor ainda analisa diversos modelos de cálculos mais atuais como o FHWA - Traffic Noise Prediction Model (Estados Unidos), o modelo japonês (ASJ Model-1993), CoRTN - Calculation of Road Traffic Noise (Reino Unido), RLS90 - Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (modelo alemão) e StL-86 Version1.0 (Suíça).

Com a Directiva Europeia, muitos países passaram a criar seus próprios modelos para fazer os mapeamentos. Para os países europeus que não apresentem seu próprio método, é recomendado o uso do método francês (NMPB Routes-96) para calcular a fonte e o modelo de propagação para o tráfego rodoviário. Este método é semelhante ao ISO 9613-2 (ISO 9613 Parte 2, 1996), mas algumas de suas características são mais desenvolvidas, tais como as condições de propagação atmosférica (ARANA et.al., 2010).

Aquele método recomendado pela Directiva 2002/49/EC do Parlamento Europeu e o Conselho, chamado de Novo Método de Previsão do Ruído do Tráfego (NMPB Routes-96), foi desenvolvido na França em 1996. Este método apresenta um procedimento detalhado de cálculo dos níveis de ruído gerados pelo tráfego na proximidade de uma via, tendo em conta o impacto das condições meteorológicas na propagação.

Em pesquisa realizada por Knauss (2009), fez-se uma análise do modelo de cálculo francês e do modelo de cálculo alemão RLS 90, comparando-os com as medições coletadas na área de estudo. Os resultados mostraram que, em situações de terrenos mais acidentados, os dois modelos obtiveram certa diferença entre os níveis de ruído calculado e os níveis de ruído medido.

Arana et.al. (2010) analisaram os dois programas computacionais mais utilizados para modelagem de previsão sonora, sendo eles *Sound Plan* e o *Cadna-A*, aplicando-os para a modelagem de um mesmo local. Na comparação dos resultados houve certas discrepâncias entre eles. Apesar dos valores serem pequenos, os autores mostram que há a necessidade de analisar se os modelos condizem com a

realidade e se servem para outros países que possuem principalmente climas diferenciados.

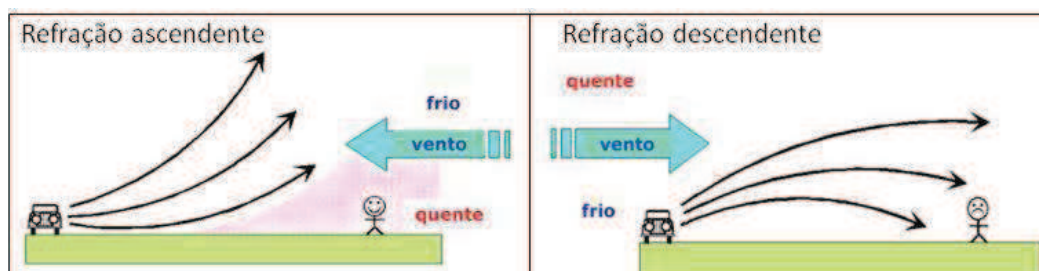
4.3. O modelo NMPB Routes-96 e 2008

O método provisório recomendado pela Directiva Europeia, para aqueles Estados que não possuem seu próprio método de cálculo do ruído produzido pelo tráfego rodoviário, é o método nacional de cálculo francês NMPB Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB). Esse se refere ao *Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6*, e a norma francesa XPS 31-133. Esse método apresenta um procedimento detalhado de cálculo dos níveis de ruído gerados pelo tráfego na proximidade de uma via, tendo em conta o impacto das condições meteorológicas na propagação.

O algoritmo do cálculo através do modelo NMPB Routes-96 considera o cálculo do nível sonoro equivalente de longa duração (L_{LT}) e as condições meteorológicas da zona em estudo.

Quando o meio é homogêneo, o som propaga-se em linha reta com velocidade de 344 m/s no ar a uma temperatura de 20°C. Se o meio não é homogêneo, as ondas sonoras tendem a se curvar na direção da zona de menor velocidade, criando zonas de ruído ou de sombra acústica, devido à refração descendente ou ascendente. A refração descendente da Figura 5, representa a condição favorável de propagação sonora (BICKER, 2011).

Figura 5 - Condição meteorológica desfavorável e favorável à propagação sonora.



(Fonte: BICKER, 2011)

Assim segundo aquele método, o nível sonoro para um período longo é calculado pela expressão:

$$L_{LT} = 10 \log [p \cdot 10^{L_F/10} + (1-p) \cdot 10^{L_H/10}] \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

p: é a porcentagem de ocorrência média anual das condições meteorológicas favoráveis à propagação do ruído e assume valores entre $0 < p < 1$, em que 0 é uma tendência homogênea para a propagação e 1 uma tendência favorável à propagação.

L_{LF} : é o nível sonoro para condições meteorológicas favoráveis do local

$$L_{LF} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,F} - A_{dif,F} - A_{ref} \quad \text{Equação 10}$$

L_{LH} : é o nível sonoro para condições meteorológicas homogêneas do local

$$L_{LH} = LW - A_{div} - A_{atm} - A_{solo,H} - A_{dif,H} - A_{ref} \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

LW: é o nível de potência sonora da fonte.

O termo A_x representa as atenuações que ocorrem no caminho entre fonte e receptor, sendo:

A_{div} a atenuação devida à divergência geométrica;

A_{atm} a atenuação devida à absorção pelo ar atmosférico;

A_{dif} a atenuação devida à difração;

A_{solo} a atenuação devida aos efeitos devido ao solo;

A_{ref} atenuação devida à absorção das superfícies verticais nas quais o raio foi refletido no plano horizontal (SILVA, 2010).

O nível de potência sonora (LW) é associada ao tráfego viário em função de suas características (fluxo, composição e velocidade média), bem como a tipologia e tipo de pavimento da via são considerados através de fatores de correção.

Os dados do tráfego relativos às duas categorias de veículos, leves e pesados, são tratados de forma agregada, ponderando o fluxo de veículos pesados, através de um fator de equivalência acústica entre os veículos.

O nível de potência sonora por metro de faixa longitudinal viária é calculada pela expressão:

$$LW = LW_{VL} + 10 \log \left(\frac{\text{fluxo} + \text{fluxo} \times \%P \times \frac{EQ-1}{100}}{V_{50}} \right) - 30 \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

LW_{VL} : é o nível de potência sonora emitida por um veículo leve (W);

Fluxo: é o número de veículos por hora por faixa de rodagem;

%P: é a porcentagem de veículos pesados;

EQ: é a equivalência de veículos pesados/veículos leves.

O fator de equivalência acústica entre veículos leves e pesados é dado pelas normas Francesas – NF S.31.085 (AFNOR, 1991, apud SILVA, 2010).

O nível de potência sonora de um veículo leve é obtida através da expressão:

$$LW_{VL} = 46 + 30 \log V_{50} + C \quad \text{Equação 13}$$

Onde:

V_{50} : representa a velocidade do fluxo de veículos leves; quando V_{50} for menor que 30 ($V_{50} < 30$) considera-se para o cálculo $V_{50} = 30$;

$C = 0$ para fluxo de tráfego fluido;

$C = 2$ para fluxo de tráfego interrompido;

$C = 3$ para fluxo de tráfego em aceleração.

Como já mencionado anteriormente, em 2000, realizou-se a revisão do NMPB Routes-96 sob pedido do SETRA, trazendo o modelo NMPB Routes-2008. Nessa revisão foram levados em conta dois espectros diferentes para tipos de pavimentos,

devido a diversidade de pavimentos viários no território francês, sendo considerado então um pavimento com drenagem e outro sem.

Outro parâmetro modificado foi o espectro sonoro da fonte. No método anterior era calculado em bandas de 1/1 oitava e no modelo de 2008 utilizam-se bandas de 1/3 de oitava para todo o cálculo (DUTTILEUX et. al., 2008).

Segundo o mesmo autor, para a simulação, a linha da fonte representando uma via é dividida em fontes pontuais. A NMPB Routes-96 considerava cada ponto de fonte a 0,5 m acima do solo. Na NMPB Routes-2008, a altura é definida a 0,05 m. Este baixo valor corresponde à dominância do ruído ser do pneu em contato com a via e também ao fato de outras fontes de ruído, como o motor, não poderem ser vistas como fontes pontuais.

Outras mudanças ainda são consideradas dentro dos cálculos dos parâmetros de atenuações A_{solo} , A_{div} e A_{ref} , conforme detalhado por Dutilleux et al. (2008).

Para os dados meteorológicos, há de se tomar certos cuidados, pois os fornecidos pelo método referem-se às condições climáticas francesas, com bases em levantamentos das estações meteorológicas de anos, considerando ventos, temperaturas, umidade, radiação solar, etc.

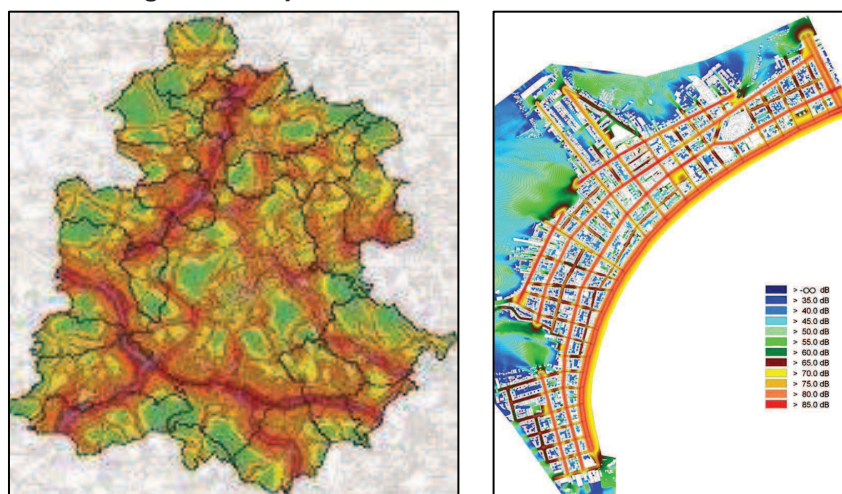
4.4. Software Cadna-A

Dentre a gama de programas computacionais desenvolvidos para geração de mapas de ruído, um dos exemplos encontrados no mercado e que permite o emprego do modelo NMPB 2008 é o software Cadna-A.

O programa Cadna-A foi desenvolvido pela empresa DataKustik GMBH. É utilizado para o cálculo e avaliação do ruído e da poluição do ar. Calcula e prevê a exposição ao ruído ambiental, advindos de comércios e indústrias, instalações desportivas e lazer, ou dos sistemas de tráfego como rodovias, ferrovias, aeroportos, ou outras possibilidades de ruído. Trabalha em várias escalas, como a predição de ruído em estudos locais, bem como análises detalhadas de mapeamento de cenários de ruído nas grandes cidades (METZEN, 2009).

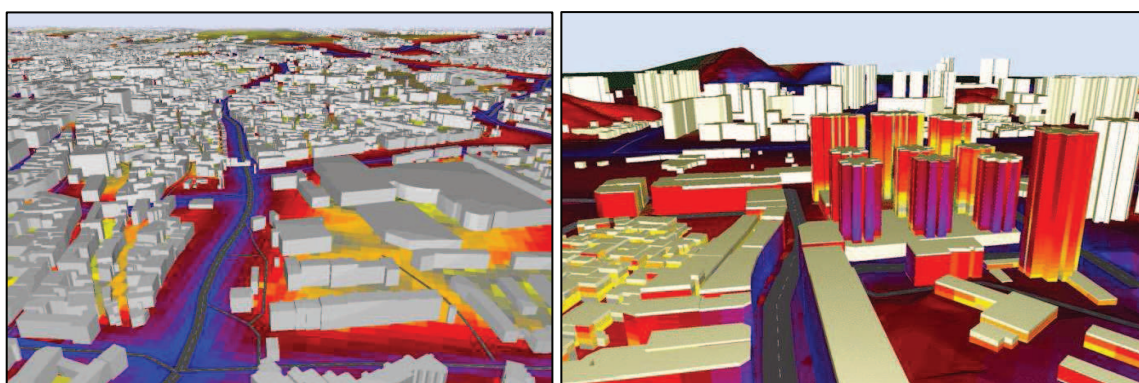
Para a simulação, o programa permite a edição dos componentes que influenciam a emissão de som, através das fontes sonoras e a propagação, podendo-se editar os efeitos de absorção, reflexões e inserções de barreiras sonoras. A apresentação dos resultados é dada através de mapas de ruído, com diferenciação por cor ou por linhas de contorno dos níveis sonoros obtidos, com visualização bidimensional (2D) (Figura 6), tridimensional (3D) (Figura 7) e em corte.

Figura 6 - Mapeamentos em 2D de diferentes escalas urbanas



(Fonte: DATAKUSTIK , 2012).

Figura 7 - Visualização em 3D de mapeamentos sonoros



(Fonte: DATAKUSTIK, 2012).

Nas simulações, os ruídos emitidos pelo tráfego nas vias são calculados como fontes lineares, divididas em segmentos. Esses segmentos constituem-se fontes independentes. Para cada parte é atribuído um nível de potência sonora, de

acordo com as características da via e do tráfego, como explicado no modelo de cálculo no tópico anterior.

Através do modelo de cálculo do NMPB-Routes 2008 incorporado ao programa, podem ser inseridos os valores de tráfego veicular, com a determinação de quantidade de veículos leves e a porcentagem da quantidade de veículos pesados em relação aos veículos leves, a velocidade da pista, as características do pavimento e da via. Em opção a esse procedimento, pode-se ainda inserir os valores medidos *in loco* em decibel em alguns pontos.

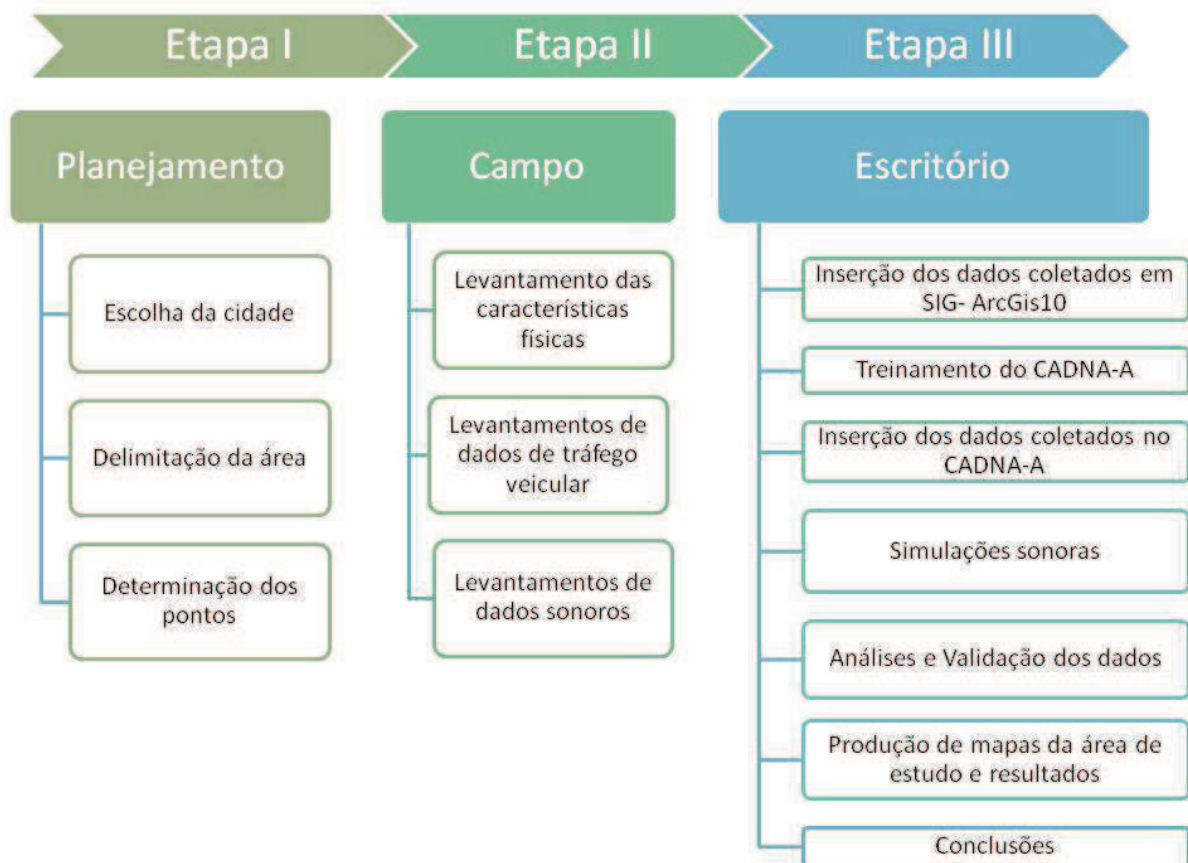
O modelo considera o trajeto direto da propagação do som em relação a cada receptor. Nesse trajeto inclui-se a atenuação devido ao efeito da distância (divergência geométrica), à absorção pela atmosfera e ao efeito do solo e à difração em torno dos obstáculos. Além disso, são consideradas as reflexões sonoras, podendo ser configurada a quantidade de reflexões que ocorrerá dentro do modelo (CARVALHO, s.d.).

Também são introduzidas junto ao modelo de cálculo NMPB Routes 2008, as condições meteorológicas, permitindo a opção de condições favoráveis, homogêneas de propagação ou modo Default (equivalendo a uma ponderação entre as duas anteriores). Ainda, para as cidades francesas, tem-se a opção das condições locais para uma gama de cidades, de acordo com levantamentos das estações meteorológicas daquele país.

5. O Estudo de Caso e a Metodologia

Para alcançar os objetivos da pesquisa, os procedimentos metodológicos englobaram levantamento e tratamento de dados, simulações e análises, agrupados em etapas de planejamento, campo e escritório, que são delineadas na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma da metodologia da pesquisa



5.1. Delimitação e características da área de estudo

A cidade de estudo de caso é o município de São Carlos, localizada no centro geográfico do Estado de São Paulo (Figura 9). Caracteriza-se com clima de verão chuvoso e inverno seco, possuindo, segundo a Prefeitura Municipal de São Carlos (2011), temperatura média anual de 19,6 °C, com precipitação anual de 1512 mm. Sua altitude média é de 856 m, com altitude mínima de 520 m e máxima 1000 m. Em 2010 a população era de 219.865 habitantes (IBGE, 2010). O município possui área total de 1.137,303 km² (IBGE, 2011), sendo a área urbana de 67,25 km² (6% da área total), com área ocupada de 33 km² (SÃO CARLOS, 2011).

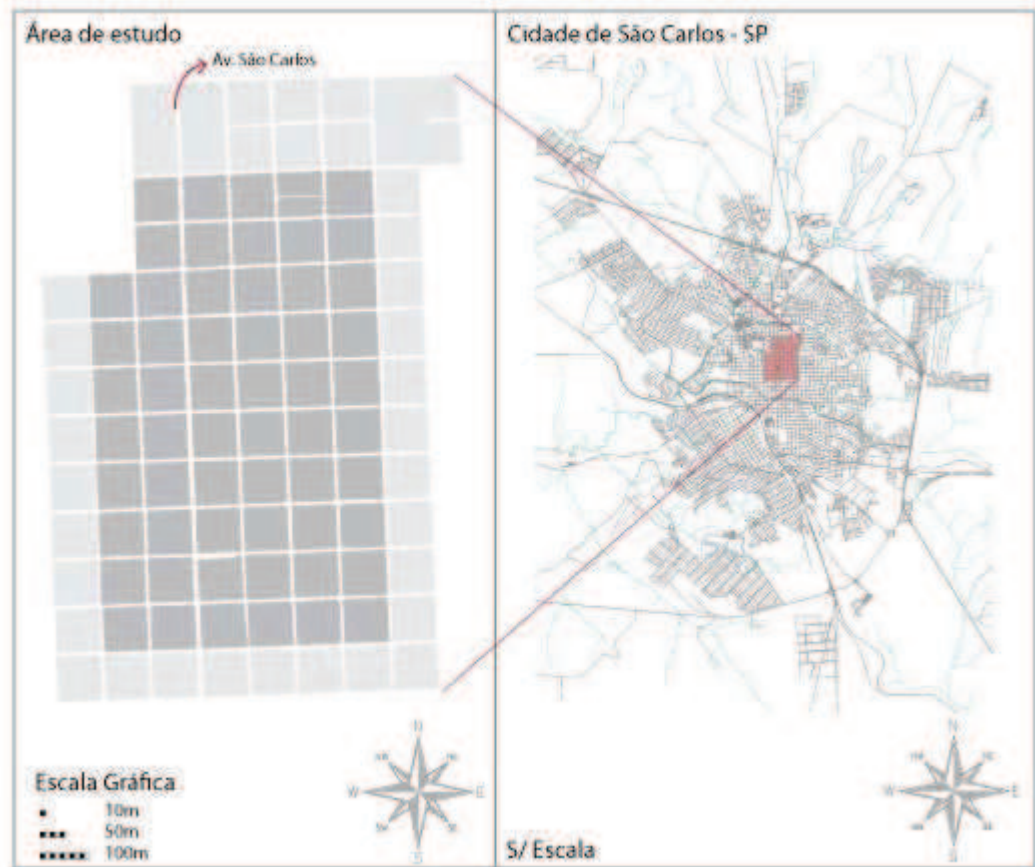
Figura 9 - Localização da cidade de São Carlos.



(Fonte: Adaptado da Prefeitura Municipal de São Carlos).

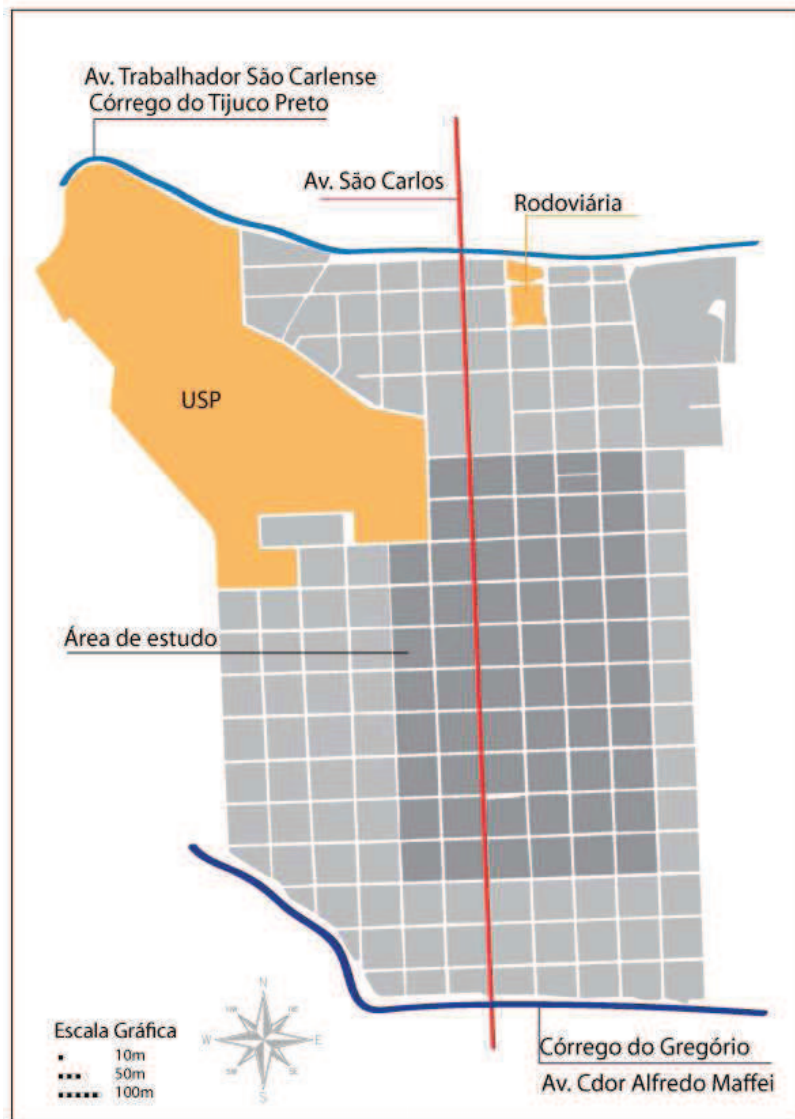
A área de estudo selecionada é a região central na cidade (Figura 10), com cerca de 855.550,00 m², formada pelos bairros Centro, Jardim Macarengo e Vila Faria. A área compreende a principal avenida da cidade, a Av. São Carlos. Essa, por sua vez, se caracteriza como um corredor de ligação, cortando toda a cidade, sendo próxima a uma parte do *Campus* da USP e a rodoviária da cidade (Figura 11). A área se delimita também por sua formação topográfica, ficando entre dois fundos de vales, o primeiro, onde se encontra a Av. Trabalhador São-carlense (Córrego do Tijuco Preto), e o segundo, na Av. Comendador Alfredo Maffei (Córrego do Gregório).

Figura 10 - Localização da área de estudo em relação a cidade.



(Fonte: Autora).

Figura 11 - Entorno da área de estudo.



(Fonte: Autora).

A área foi escolhida por sua característica de uso misto, contendo diversas atividades diferenciadas como: edifícios residenciais e residências térreas, escolas, praças, igrejas, hospital, comércios e serviços, gerando um grande número de zonas de conflitos em relação ao uso e ocupação do solo e suas características acústicas.

No Plano Diretor da cidade (2004), em seu mapa de zoneamento, a área é considerada de uso misto, chamada de Zona de Ocupação Induzida I. Essa área ainda possui incentivo para maior ocupação de uso residencial para manter a diversificação dos usos nessa região, bem como instrumentos urbanísticos para que

haja maior índice de aproveitamento, utilizando a transferência do direito de construir. Apesar da grande concentração de usos e edifícios verticais, a área possui um alto número de imóveis desocupados e terrenos vazios, subutilizados ou abandonados.

Pelas características da área, ela se classifica na norma acústica (NBR 10.151:2000) como: Área mista, predominantemente residencial, em que o limites são 55dB(A) para período diurno e 50dB(A) para o período noturno. Porém, a área engloba diversas escolas, hospital em que os níveis seriam mais baixos e também uma tendência a comércio e serviços em que os níveis seriam mais elevados.

Quanto à mobilidade urbana, a cidade se caracteriza por um centro linear, formado pela Avenida São Carlos e suas ruas paralelas, que se configuram no principal polo gerador de viagens/tráfego. Segundo o DENATRAN (2011), polos geradores de viagens são empreendimentos de grande porte, que atraem ou produzem grande número de viagens, causando reflexos negativos na circulação viária em seu entorno imediato e, em certos casos, prejudicando a acessibilidade de toda a região, além de agravar as condições de segurança de veículos e pedestres.

Conforme estimativas do IBGE (2010), a cidade em 2010 contava com uma frota de aproximadamente 126.500 veículos, cujos tipos podem ser divididos de acordo com a tabela 5. Em jornal² online da cidade, observa-se que em janeiro de 2012, o registro foi um total de 138.765 veículos.

Tabela 5 - Frota de veículos da cidade de São Carlos de 2010.

| TIPO DE VEICULO | QUANTIDADE |
|------------------|------------|
| Automóveis | 83.758 |
| Caminhões | 3.385 |
| Caminhões-trator | 369 |
| Caminhonetes | 7.962 |
| Micro-ônibus | 3.862 |
| Motocicletas | 372 |
| Motonetas | 22.502 |
| Ônibus | 3.091 |
| Tratores | 399 |

(Fonte: IBGE, 2010).

² <http://www.saocarlosemrede.com.br>

Quanto à legislação pertinente à cidade de São Carlos, diretrizes gerais do ordenamento territorial do município são apresentadas pelo Plano Diretor, definido pela LEI Nº 13.691 de 25 de novembro de 2005. Assim, dentre as diretrizes a serem atendidas pelo Macrozoneamento e o Zoneamento do Município, destacam-se:

- Exigir para o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, a elaboração prévia de Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, bem como sua aprovação pelos órgãos competentes do Poder Público, observada a legislação específica;
- Exigir Estudo de Incômodo ou Impacto de Vizinhança, e suas ações complementares, para regularização ou licenciamento das atividades ou empreendimentos, potencialmente incômodos ou impactantes, instalados no território do Município de São Carlos;

Outro elemento do macrozoneamento que é destinado a combater a poluição e atividades incômodas à população na cidade de São Carlos, é a definição de classes dessas áreas no uso e ocupação do solo. Assim, os usos não habitacionais foram classificados por meio de categorias de atividades, podendo ser não incômodas (NI), incômodas 1 (R), incômodas 2 (NR). O grau de incomodidade se baseia nos parâmetros descritos no Anexo nº 09 daquela Lei e nos seguintes efeitos:

- Poluição sonora: geração de impacto sonoro no entorno próximo pelo uso de máquinas, veículos de propaganda, utensílios ruidosos, acessórios de autos, aparelhos sonoros ou similares, estabelecimentos comerciais e industriais, concentração de pessoas ou animais em recinto aberto ou fechado;
- Geração de tráfego pesado: pela operação ou atração de veículos pesados, tais como caminhões, ônibus, carretas, máquinas ou similares, que apresentam lentidão de manobras com ou sem utilização de cargas;
- Geração de tráfego intenso: em razão do porte do estabelecimento, da concentração de pessoas e do número de vagas de estacionamentos criados ou necessários.

Fazem parte dessa seção também, o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) em todo o processo de licenciamento dos estabelecimentos. As questões ambientais gerais do município são de responsabilidade do COMDEMA (Conselhos Municipais de Defesa do Meio Ambiente).

Há também uma lei mais recente do município referente às questões de poluição sonora, a regulamentação da Lei 13.768/06, que objetiva controlar e fiscalizar a Poluição Sonora em São Carlos, coibindo os exageros sem eliminar atividades, dando parâmetros para concessão de alvarás para autorização de música ao vivo e horário de funcionamento dos estabelecimentos. Dentre as penalidades, estão previstas a notificação, multa diária e até a cassação do alvará de funcionamento.

5.2. Levantamentos e Medições

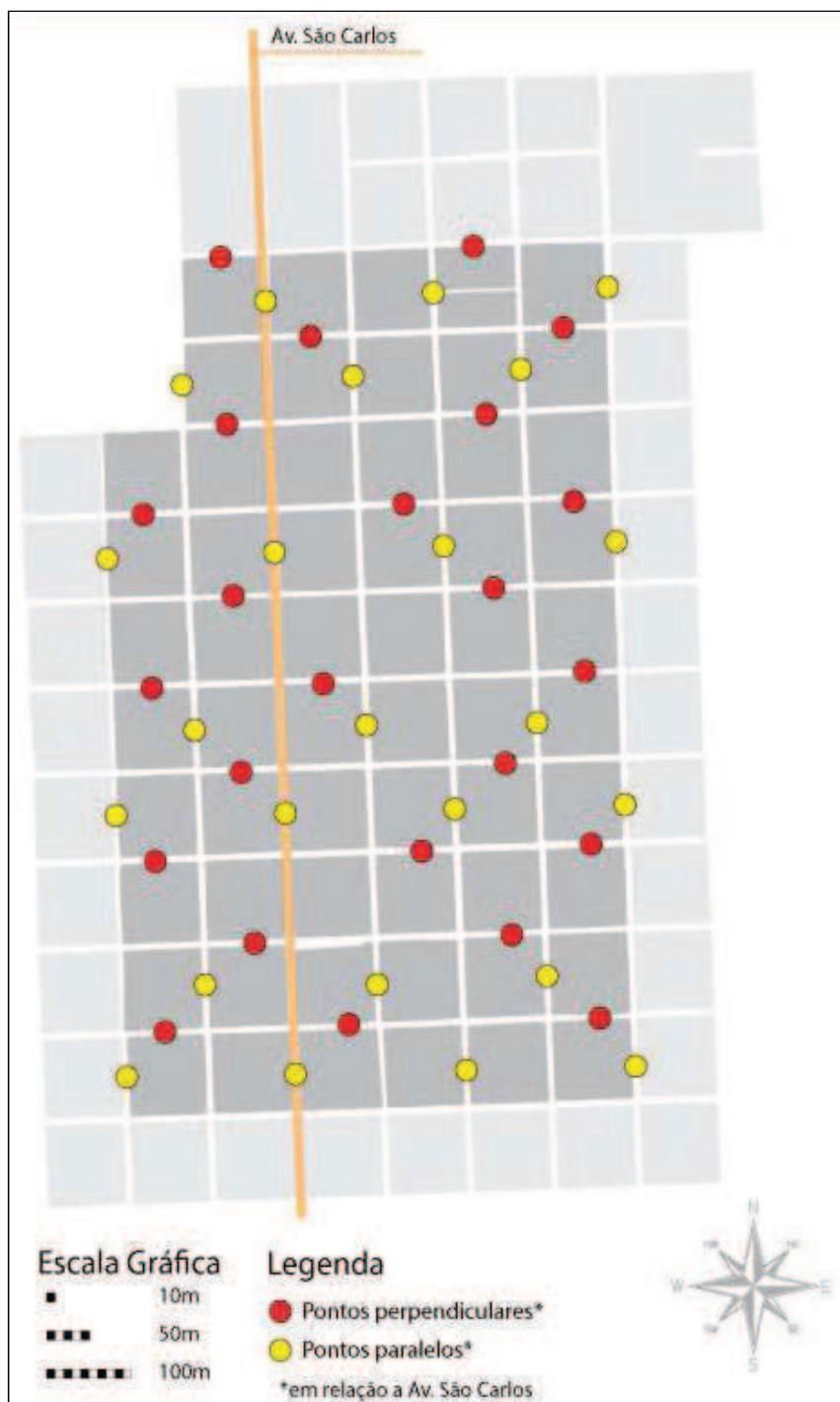
A partir da seleção da área estudada, foram especificados 48 pontos de referência para a realização das coletas de dados.

Para determinar o tamanho da amostragem, ou seja, a quantidade de pontos de coleta, optou-se por representar 30% da área, de forma a caracterizar o ambiente. Depois desta seleção, sobre essa primeira amostragem foram adicionados mais alguns pontos de coleta, para melhor homogeneização e distribuição de pontos dentro da área. Todos eles foram separados em duas malhas, uma nas vias de sentido norte-sul, e outra nas vias de sentido leste-oeste. Desta forma, foram selecionados 24 pontos no sentido norte-sul (nas ruas paralelas em relação a avenida São Carlos) e 24 pontos no sentido leste-oeste (nas ruas perpendiculares). Os pontos foram locados em meios de quadras, faceando a via, para buscar a representação de um fluxo contínuo, minimizando a influência dos cruzamentos, semáforos e acelerações de arrancada nas paradas.

Após a determinação dos pontos para a coleta de dados, estes foram nomeados (Figuras 12 e 13) e montou-se uma tabela para que fossem feitos os levantamentos necessários. Essa tabela (preenchida para os horários de medições e constantes dos Apêndices de A, B e C) conteve informações de ruas, datas e

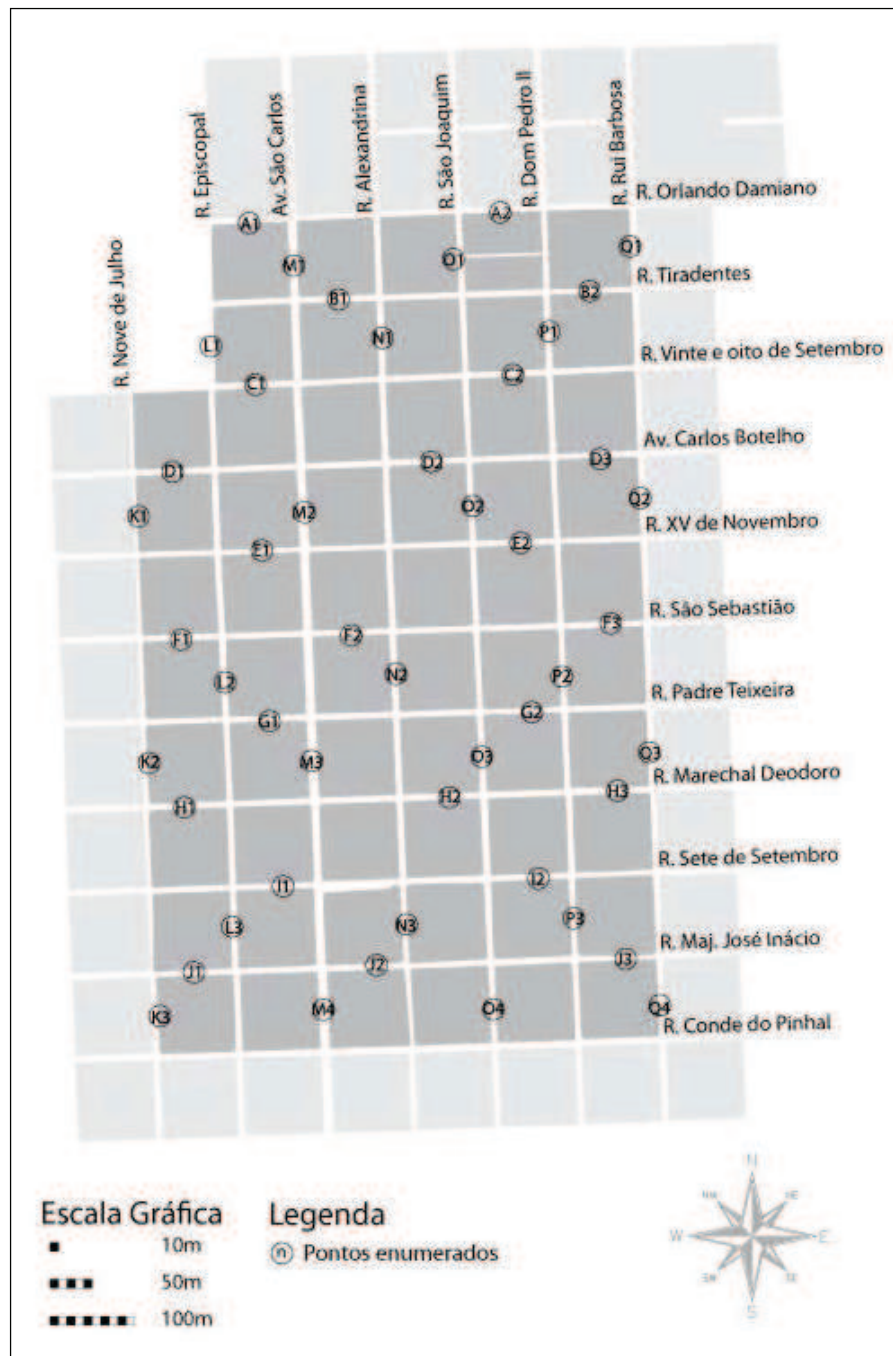
horários, pontos e observações, caso houvesse algum evento representativo durante a campanha de medição.

Figura 12 - Pontos de coleta separados em duas malhas.



(Fonte: Autora).

Figura 13 - Pontos de coleta de dados nomeados com referência de ruas.



(Fonte: Autora).

Para as medições de níveis de pressão sonora e contagem de veículos, cuidou-se para que os horários de medição fossem em horários de pico de tráfego e em dias de semana (terças, quartas e quintas-feiras). Optou-se pelo estudo nos

horários de pico de tráfego por sua representatividade em relação ao cenário acústico mais ruidoso, portanto de maior conflito para o pedestre. Os horários considerados foram das 7h às 8h, que se chamou de período da manhã, das 12h às 13h, representando o início da tarde, e das 18h às 19h, caracterizando o entardecer. Para garantir dias típicos, excluíram-se finais de semanas e feriados, por apresentarem diferenças na dinâmica da cidade. As medições foram realizadas entre os meses de agosto, setembro e outubro de 2011.

Os equipamentos utilizados para a medição de pressão sonora foram da marca Brüel & Kjær, tipo Hand-Held Analyser, modelo 2250-L e modelo 2270 (utilizados conforme o período de aquisição dos equipamentos), classificados como tipo 1 de precisão (Figura 14). Para minimizar interferências causadas por ventos, foi acoplado um protetor de vento ao microfone. O software utilizado para descarregar os dados para o computador foi o BZ5503 - Utility Software for Hand-held Analyzers, e a calibração do equipamento foi realizada com um calibrador tipo 4231, ambos da Brüel & Kjær.

Figura 14 – Sonômetro da marca Brüel & Kjær, tipo Hand-Held Analyser 2250-L



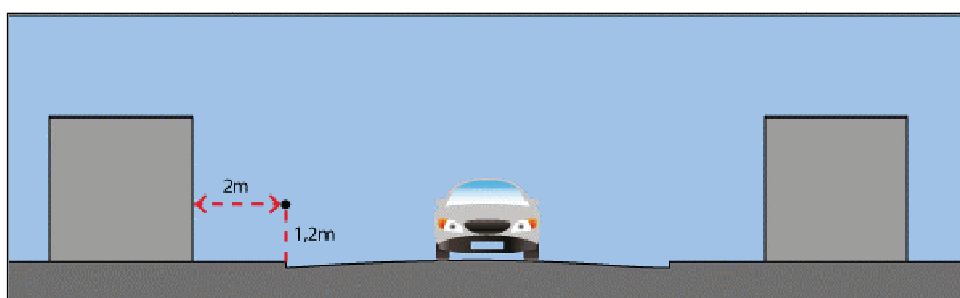
(Fonte: Autora).

Foram atendidas todas as especificações metodológicas indicadas pelas NBR 10.151:2000 e ISO 1996/2:2007. O aparelho foi configurado com as especificações para medições externas de ruído ambiental, utilizando o circuito de compensação A.

O tempo de duração de cada medição nos pontos foi de 5 minutos em cada faixa de horário. A escolha do tempo de amostragens foi baseada em Murgel (2007), que indica que, em vias de tráfego intenso, um tempo de amostragem de 5 a 10 minutos é suficiente para fornecer resultados representativos. Essa afirmação pôde ser também confirmada pela pesquisa de Mendonça et al. (2012), integrantes do grupo ao qual essa pesquisa está vinculada. Naquela pesquisa, analisando-se estatisticamente os dados de medições simultâneas de 5 e de 10 minutos de duração para a cidade de São Carlos, verificaram-se coeficientes de determinação (R^2) de 0,60 para LF10(A); 0,85 para LF50(A); 0,97 para LF90(A); e 0,87 para Leq(A). Portanto, foi concluído que, com exceção de LAF 10, há possibilidade do uso de 5 minutos para medições de ruído provenientes do tráfego e vias urbanas, o que permite otimizar o tempo de coleta de dados.

Para a pesquisa aqui desenvolvida foram levantadas, em cada ponto de coleta, as medições do nível de pressão sonora equivalente contínuo, ponderado em A [$Leq(A)$], os níveis de pressão sonora máximo e mínimo (L_{Amax} , L_{Amin}) e os níveis estatísticos L10(A), L50(A), L90(A). Ressalta-se que para o L10(A) as análises são limitadas, em função dos resultados de Mendonça et al. (2012). O aparelho foi afastado de superfícies refletoras, conforme sugerido pela norma, no mínimo 2,0 m de paredes e 1,2 m do chão, como demonstrado na Figura 15.

Figura 15 - Distância de superfícies refletoras para medição sonora.



(Fonte: Autora).

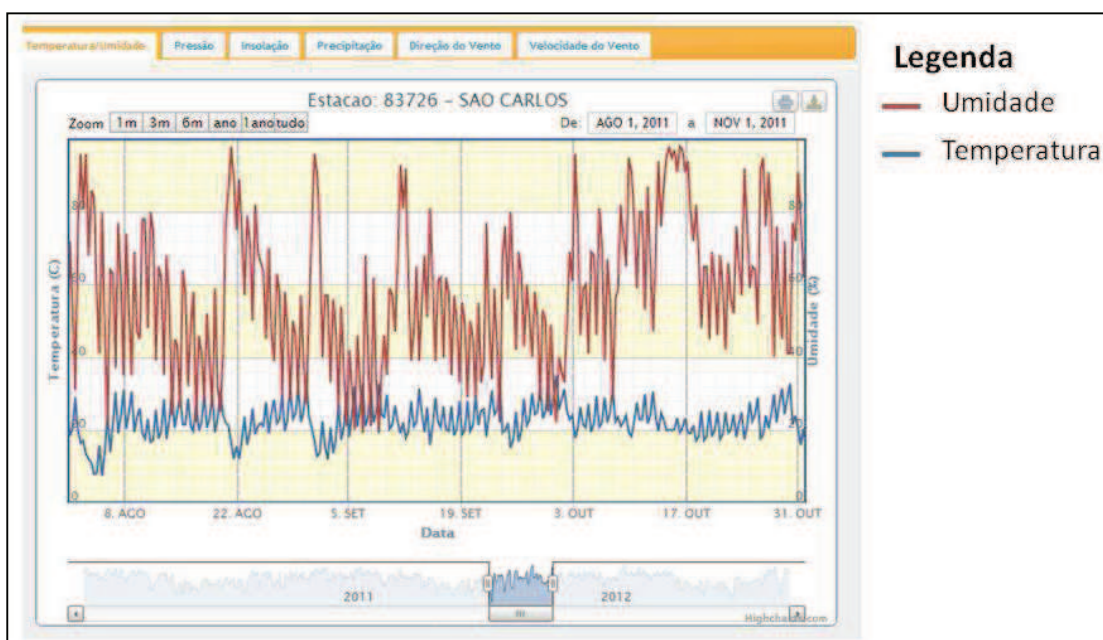
Sobre os dados climatológicos, a ISO 1996/02:2007 recomenda que durante as realizações das medições, as condições meteorológicas sejam descritas e monitoradas, com dados de velocidade do ar, direção dos ventos, cobertura de

nuvens, temperatura do ar, umidade relativa do ar, pressão atmosférica e ocorrência de precipitação.

Balzan (2011) mostra que para Carey (1996) as condições favoráveis de temperatura do ar e umidade relativa do ar devem estar entre os limites de -10°C e 50°C e 30% e 90%, enquanto para Palhares et al. (1996) devem estar nas faixas de 10°C a 35°C e 40% a 90%. Para a velocidade do vento a ISO 1996/02:2007 recomenda que os ventos sejam inferiores a 5 m/s.

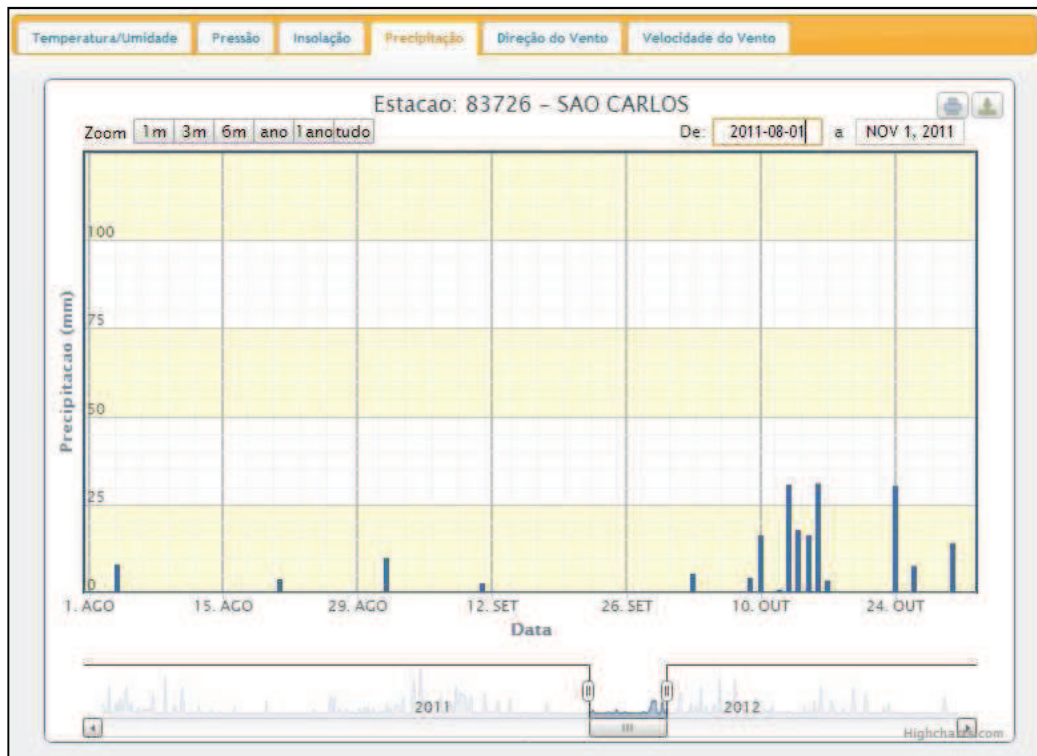
Durante as medições da pesquisa aqui realizada (período de 01/08 a 01/11/2011), foram evitados os dias de chuva, ventos fortes e frio intenso. Os dados de INMET – Instituto Nacional de Meteorologia (2011) para esse mesmo período validam as condições climatológicas de temperatura e umidade do ar (Figura 16), de precipitação (Figura 17) e de velocidade do vento (Figura 18).

Figura 16 – Dados de temperatura e umidade do ar de São Carlos



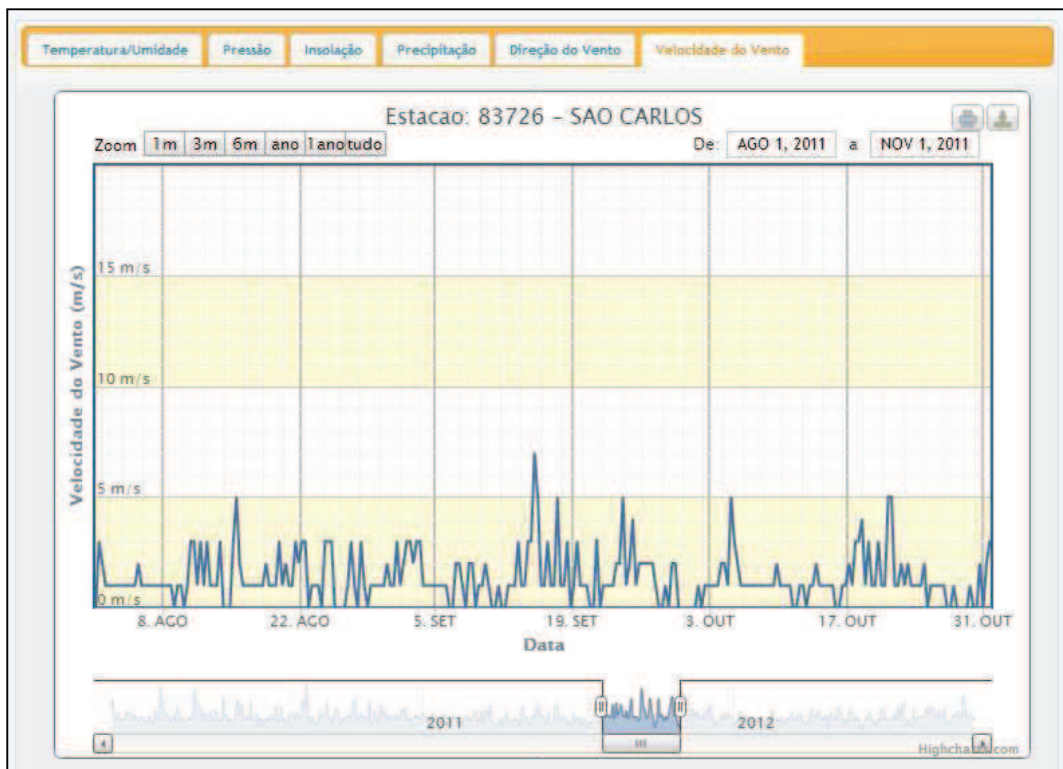
(Fonte: INMET, 2011)

Figura 17 - Dados de precipitação de São Carlos



(Fonte: INMET, 2011)

Figura 18 - Dados de velocidade do vento de São Carlos.



(Fonte: INMET, 2011)

Coletas de fluxo de veículos foram contabilizadas simultaneamente às medições sonoras, sendo realizada, manualmente, a contagem da quantidade de veículos e a composição do tráfego, diferenciando-os em leves (veículos de passeio), pesados (ônibus e caminhões) e motocicletas.

Em paralelo, um levantamento físico também foi realizado para identificação das seguintes características do entorno: largura da via e passeios; tipo de pavimento; direção de fluxo; altura de edifícios; forma de ocupação dos edifícios; tipos de usos; vegetação relevante; altura de muros; topografia; e posição geográfica (latitudes e longitudes) (Apêndice D). Para isso, além das visitas a campo, utilizou-se o recurso de visualização do Google Earth por acesso *online* (Figura 19) e a sua sobreposição com plantas cadastrais e topográficas (obtidas através da Prefeitura Municipal de São Carlos e Plano Diretor do Município).

Figura 19 - Pontos de referência para Altitude, Latitude e Longitude.



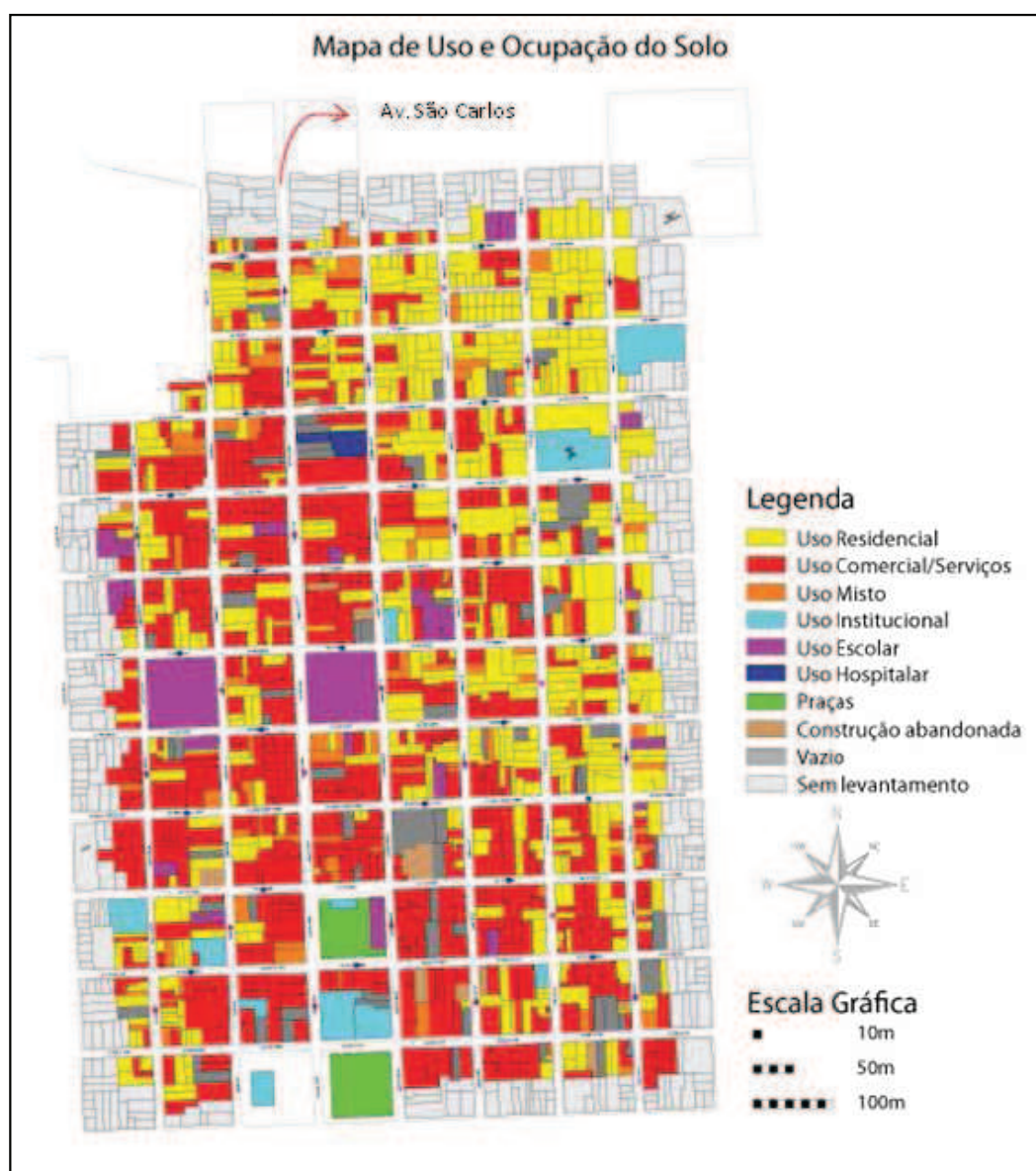
(Fonte: Adaptado do Google Earth, 2011).

Com o levantamento físico, obteve-se a caracterização do ambiente estudado conforme as Figuras 20 e 21. Os mapas foram construídos com um mapa base em

CAD, obtido através da Prefeitura Municipal de São Carlos. Neles foram inseridas as informações de usos e ocupação do solo e altura dos edifícios, diferenciando-os através de cores referenciadas nas respectivas legendas.

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 20) mostra a diversidade de usos na região, bem como lotes vazios e abandonados.

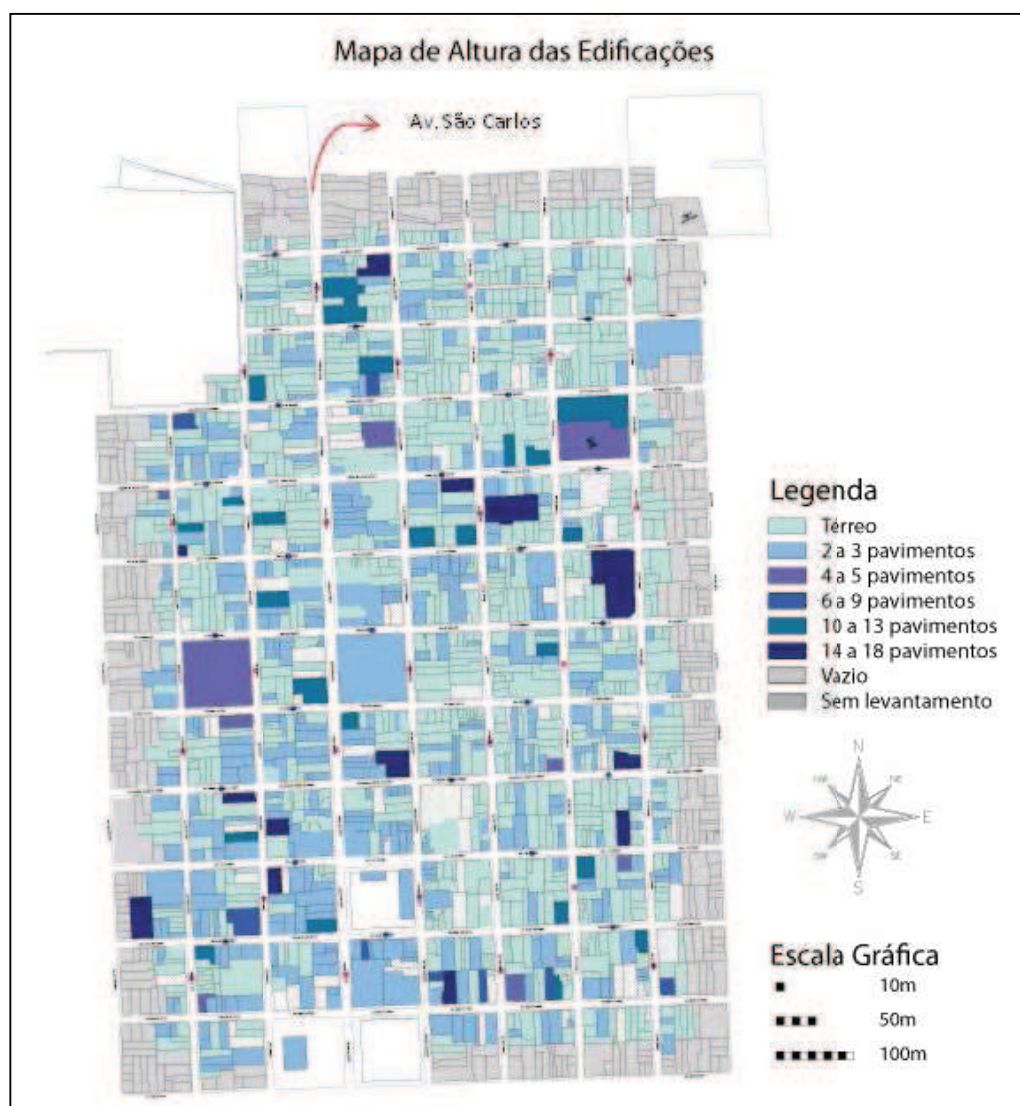
Figura 20 - Uso e Ocupação do solo.



(Fonte: Autora).

O mapa de altura dos edifícios da área (Figura 21) mostra que ainda há grande parte de residências, comércios térreos e sobrados, embora também haja edifícios de 10 a 18 pavimentos. Considera-se ainda que esta área engloba a maior concentração de edifícios de múltiplos pavimentos da cidade.

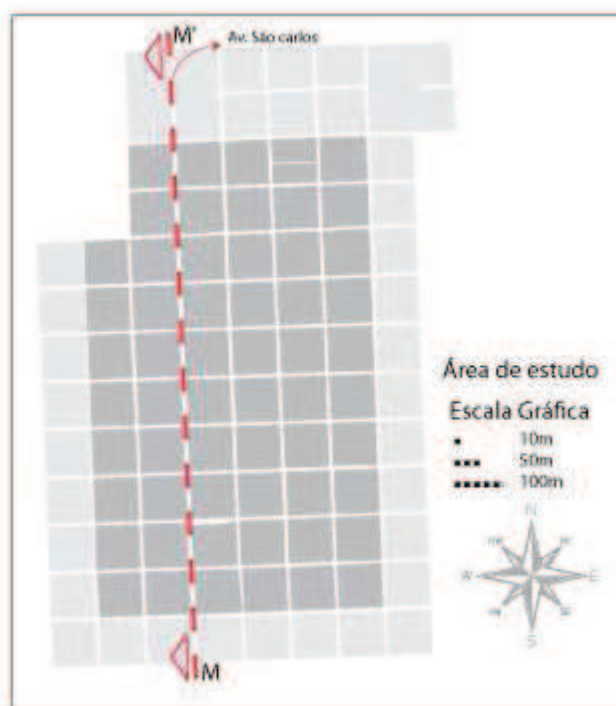
Figura 21 - Altura dos edifícios.



(Fonte: Autora).

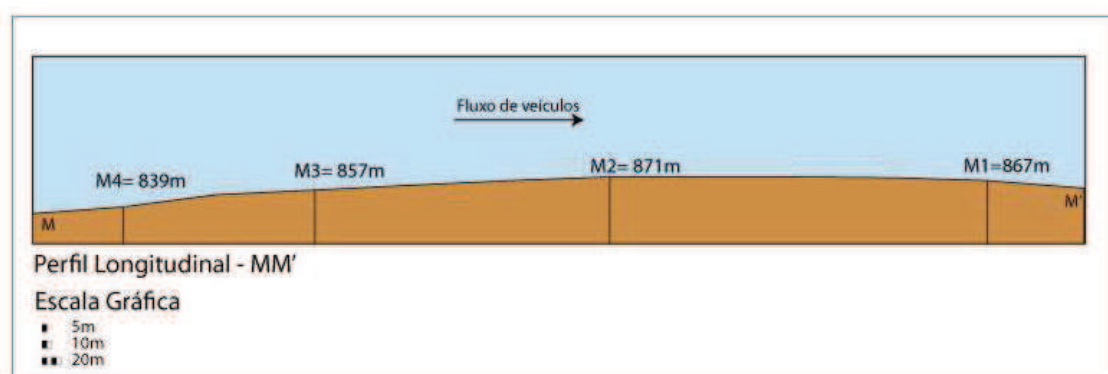
Para ilustrar as maiores diferenças topográficas da área, fez-se o perfil topográfico da Avenida São Carlos (Figura 22 e 23) no sentido Norte/Sul da via. Nele são representados um dos pontos mais baixos do terreno e um dos mais altos, com base nas altitudes coletadas através do Google Earth.

Figura 22 - Perfil MM' topografia da Avenida São Carlos.



(Fonte: Autora).

Figura 23 - Perfil MM'



(Fonte: Autora).

Destaca-se a diferença de nível entre um dos pontos mais baixos (M4) e um dos pontos mais altos (M2) da área de estudo, havendo uma diferença de 32 metros de altitude entre eles, caracterizando um fluxo ascendente nesse recorte da Avenida.

5.3. Base de Dados e Simulações

Para uma primeira análise das condições acústicas gerais encontradas na área, foram inseridos no ambiente SIG, os dados acústicos de nível de pressão sonora equivalente [Leq(A)], de tráfego, de desenho das quadras e de vias, aplicando-se o software ArcGis 10.

Naquele software, para auxiliar no entendimento da distribuição espacial das ocorrências dos dados coletados e na compreensão das tendências de propagação de ruído na área, foram gerados os primeiros mapeamentos da área estudada, sem considerar a verticalidade do tecido urbano. Para isso as isolinhas acústicas foram geradas através da ferramenta estatística de interpolação dos dados dos níveis sonoros, com a utilização do comando Spline. O fluxo de veículos foi representado através de linhas com pesos diferenciados, de acordo com suas quantidades totais de veículos.

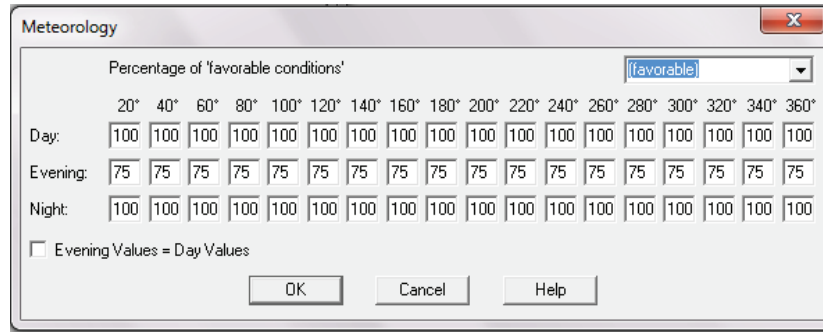
Posteriormente foram realizadas as simulações acústicas com o software Cadna-A, que foi submetido a testes de sensibilidade às variáveis de entrada e análise de validação dos dados de saída.

5.3.1. Configurações do software Cadna-A

Inicialmente, selecionou-se o modelo de cálculo desejado (NMPB Routes 2008) dentro da opção de rodovias. Esse método possibilita a escolha das condições meteorológicas para efeito das simulações. Podem ser aplicadas condições favoráveis de propagação (Figura 24) ou condições homogêneas (Figura 25). Quando não se têm os dados meteorológicos, a Agência Portuguesa (2008) recomenda as porcentagens de ocorrência média anual das condições meteorológicas favoráveis à propagação de ruído. Essa última é equivalente ao modo Default do software e representa uma ponderação entre aquelas primeiras condições, como pode ser visto na Figura 26. Outra alternativa possível é colocar os valores referentes aos dados meteorológicos coletados.

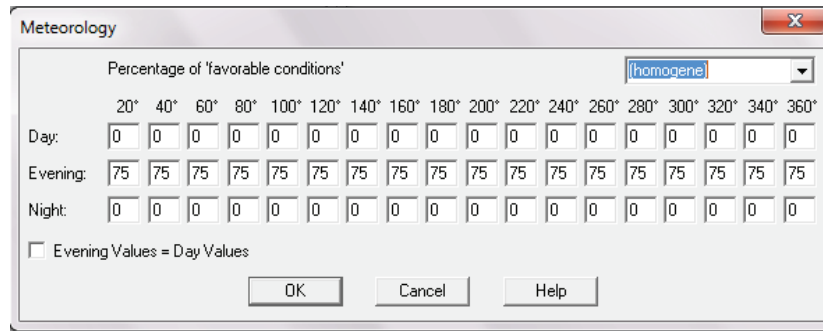
Para a análise de validação do modelo, foram realizadas simulações utilizando-se as três opções, para que pudessem ser verificadas as diferenças nos resultados. Além disso, foi simulada também uma quarta opção, que equivale a dados variados aleatoriamente (Figura 27).

Figura 24 Caixa de configurações climáticas do Cadna-A - condição favorável



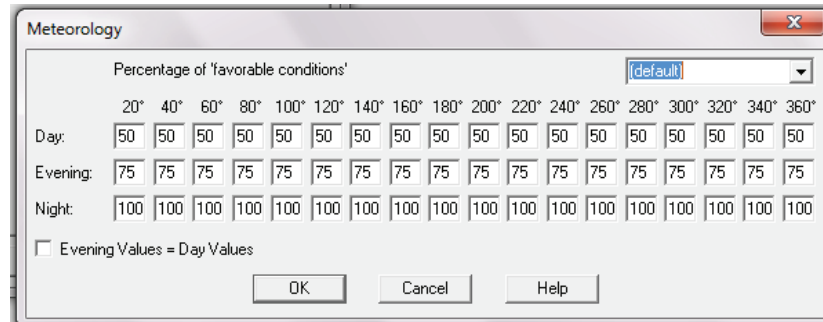
(Fonte: Autora)

Figura 25 Caixa de configurações climáticas do Cadna-A - condição homogênea



(Fonte: Autora)

Figura 26 Caixa de configurações climáticas do Cadna-A- default.



(Fonte: Autora)

Figura 27- Caixa de configurações climáticas do Cadna-A- Aleatório



(Fonte: Autora)

Para a criação do desenho de base, primeiramente, inseriram-se as curvas de nível com equidistância vertical de 1 m. Em seguida inseriram-se os desenhos das quadras e vias, as volumetrias (forma e altura) dos edifícios e outras barreiras sonoras, como muros ou vegetação relevante (Figuras 28 a 29).

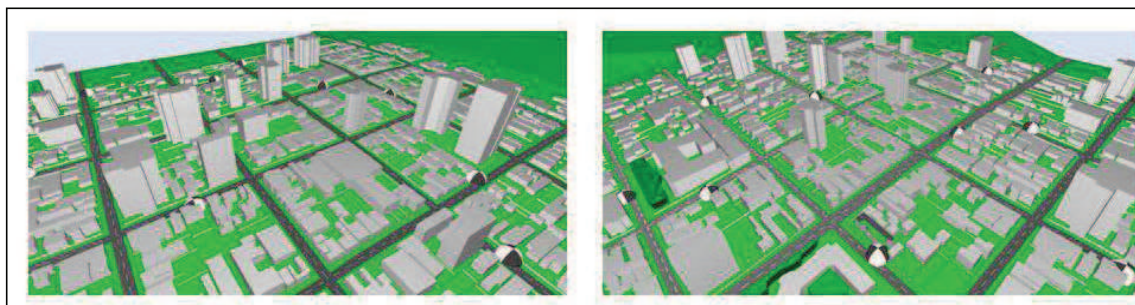
Como forma de controlar e verificar a validade da simulação, também foram locados pontos receptores (pontos para os quais o programa fornece a leitura de dados simulados) coincidentes com os pontos de coletas de dados. A altura utilizada inicialmente dos receptores foi de 1,20m e, em alguns casos, também utilizou-se os receptores a 4,0m, 10,0m e 16,0m de altura a partir do solo, para melhor compreensão da resposta gerada para a propagação sonora que ocorre no ambiente.

Figura 28 - Vista em 3D da área de estudo modelada no Cadna-A



(Fonte: Autora)

Figura 29- Vistas em 3D da área de estudo



(Fonte: Autora)

As fontes sonoras foram selecionadas como fonte Road, que representa no software a fonte de ruído proveniente das vias. Nela foram inseridos dados como perfil transversal da via, inclinação longitudinal, tipo de pavimento, direção de fluxo, quantidades de veículos e composição do tráfego (foram diferenciados veículos leves, pesados e suas velocidades, de acordo com o limite máximo permitido na via).

O software Cadna-A, com a utilização do modelo NMPB Routes 2008, possibilita o cálculo com base no fluxo dos veículos ou por emissão coletada, no caso, o $Leq(A)$. Desta maneira, os cálculos foram realizados das duas formas para os três períodos de estudo, no sentido de validar as simulações realizadas através do fluxo de veículos. A Figura 30 representa a caixa de inserção de dados da fonte sonora para rodovias e seus campos de configurações.

Figura 30 Caixa de configurações da fonte sonora no Cadna-A- Rodovias

Route (NMPB08)

Name: [] [i] [OK]

ID: [] [DEN] [Cancel]

SCS/Dist. (m): [0.0] [] Auto: [100] Truck: [80] [←] [→]

Emission:

Counts, MDTD: [0] [Geometry...]

Road Type: [Federal Road] Traffic Flow: [stabilisée] [Help]

Exact Count Data:

Road Surface: [Revêtement R1]

Road Gradient: Input (%) [0.0]

Number of Vehicles/Hour Q:

D: [0.00] E: [0.00] N: [0.00]

Percentage heavy vehicles p (%):

D: [20.0] E: [20.0] N: [20.0]

Emission: LAw' dB(A)

D: [0.0] E: [0.0] N: [0.0]

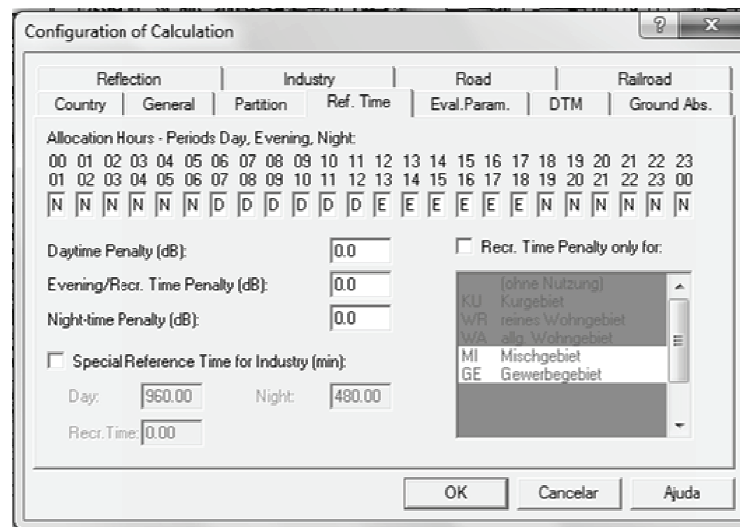
Day Evening Night

(Fonte: Autora)

Aqueles cálculos são baseados em Lden (ruído equivalente dia e noite), considerado como ruído contínuo em cada período amostrado. Dessa forma, para atender as condições do estudo, considerou-se o período denominado como Day equivalente ao período da Manhã, o período denominado Evening para o Início da tarde e o Night para o período do Entardecer. Isso foi necessário, porque o estudo focou-se apenas nos horários de pico de tráfego e não no dia inteiro. As penalidades que o método propõe para o período Evening e Night foram retiradas do cálculo (Figura 31), pois para a norma brasileira os períodos do estudo são considerados diurnos.

Os dados inseridos como inputs, no caso de simulação baseada na emissão coletada, e que resultam das medições de Leq(A), encontram-se nos apêndices E, F e G (períodos manhã, início da tarde/tarde e entardecer/noite, respectivamente).

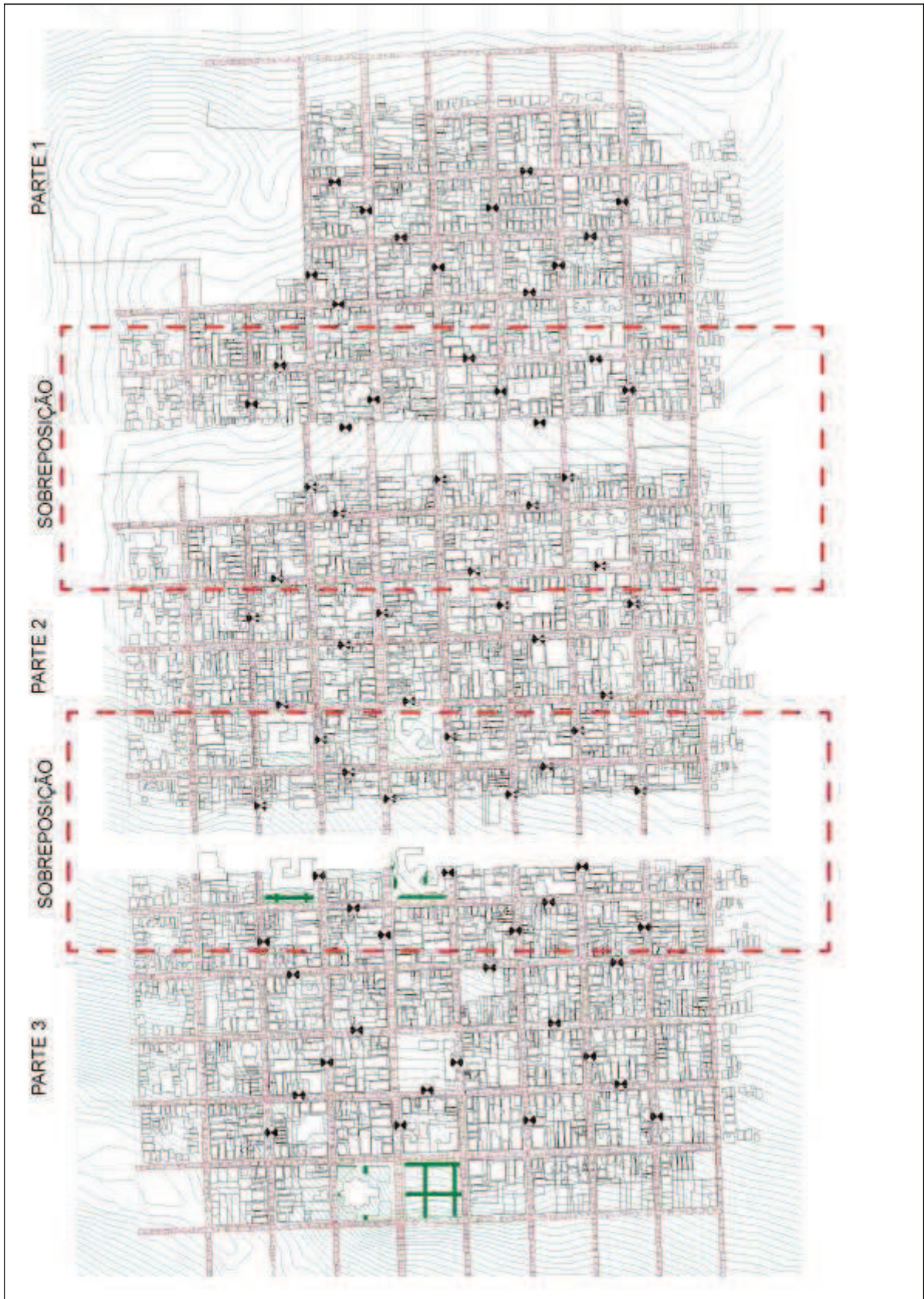
Figura 31- Caixa de configuração do tempo de referência no Cadna-A.



(Fonte: Autora)

Para a realização dos cálculos foi necessária a segmentação da área de estudo em três partes, demonstradas na Figura 32. Esse procedimento é consequente da limitação do pacote do software utilizado (Cadna-A Standart), que permite o cálculo apenas com 1000 objetos de cada tipo no modelo.

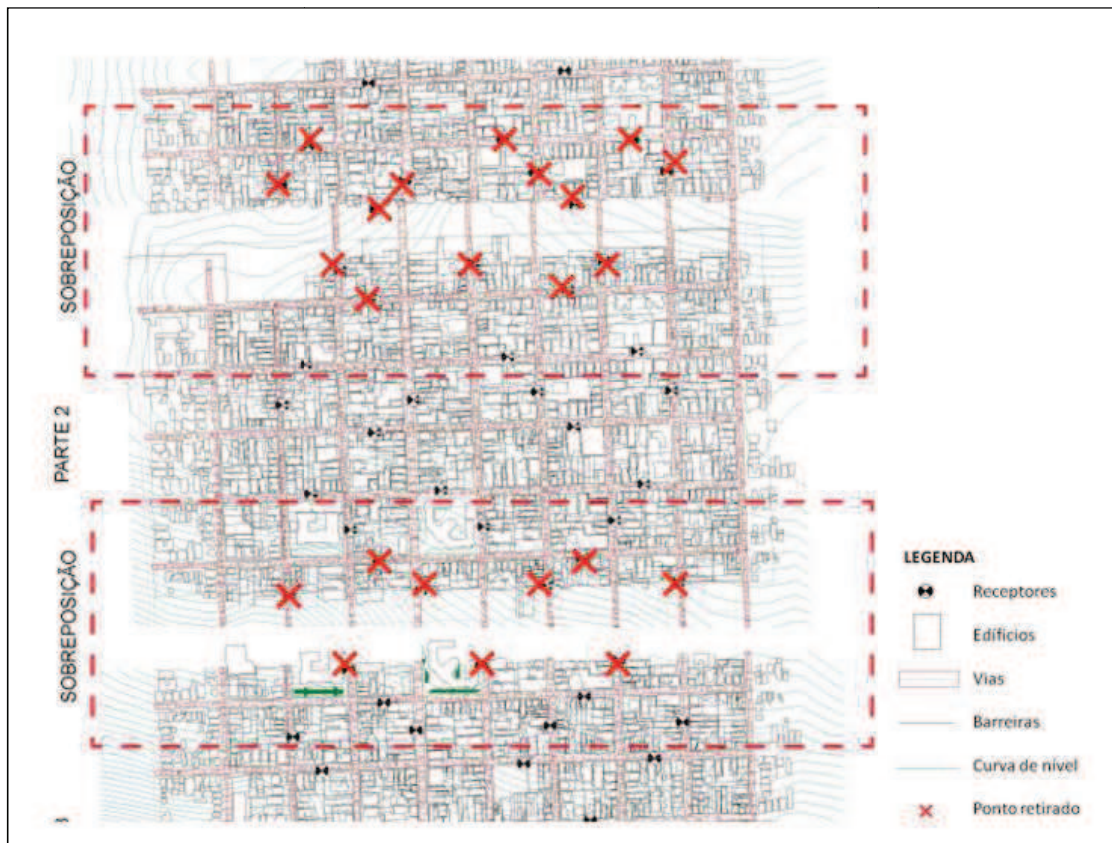
Figura 32 - Área de estudo segmentada em três partes



(Fonte: Autora)

Após os cálculos nas três partes, os resultados foram unidos. A leitura dos dados analisados foi feita a partir dos receptores. Com a separação da área de estudo, alguns receptores foram repetidos, e para as análises estatísticas foram retirados os pontos duplicados, mantendo-se aqueles que estavam mais distantes da borda, como demonstrado na Figura 33. A identificação dos pontos destinados a cada uma das partes para compor os 48 receptores utilizados para a leitura dos resultados é discriminada no Apêndice H.

Figura 33 - Receptores retirados das análises estatísticas.



(Fonte: Autora)

5.3.2. Testes de sensibilidade do modelo às variáveis de entrada

Nesta etapa, foram feitos testes para análise de sensibilidade do modelo às variáveis de entrada.

A sensibilidade do programa às variáveis de entrada foi verificada pela comparação entre pares de resultados simulados para diferentes variáveis de entrada. Para isso, foram realizadas diversas simulações com alteração de uma única variável de entrada por vez, e, posteriormente, seus resultados foram comparados entre si.

Essa comparação foi promovida através de análise de correlação dos dados, de forma que quanto menores as diferenças entre os resultados e maior o coeficiente de correlação, menor a sensibilidade do modelo em relação àquela variável. Um coeficiente de correlação alto, porém acompanhado de diferenças significativas entre as variáveis, pode representar sensibilidade para a variável e a tendência de um padrão nas diferenças. Um coeficiente de correlação baixo pode significar sensibilidade para a variável, porém as diferenças podem não acompanhar um padrão linear.

As configurações de cada simulação promovida são descritas na tabela 6, com destaque para as variáveis de entrada especificamente testadas em cada simulação.

Tabela 6 - Configurações para análise de sensibilidade do modelo às variáveis de entrada

| Configuração das variáveis de entrada para o teste de sensibilidade | | | | | | | | |
|---|--------------|------------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------------|
| simulação | meteorologia | fonte | motocicleta | velocidade | pavimento | inclinação | cenário | altura receptor |
| 1a | Favorável | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 1b | Homogêneo | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 1c | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 1d | Aleatório | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| | | | | | | | | |
| 2a | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2 |
| 2b | Default | fluxo 1 hora | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2 |
| | | | | | | | | |
| 3a | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 3b | Default | fluxo 5min | pesado | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| | | | | | | | | |
| 4a | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 4b | Default | fluxo 5min | leve | 60 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| | | | | | | | | |
| 5a | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 5b | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R2 | com | real | 1,2m |
| 5c | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R3 | com | real | 1,2m |
| | | | | | | | | |
| 6a | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 6b | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | sem | real | 1,2m |
| | | | | | | | | |
| 7a | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| 7b | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 4,0m |
| 7c | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 10,0m |
| 7d | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 16,0m |
| 7e | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | hipotético | 1,2m |
| 7f | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | hipotético | 4,0m |
| 7g | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | hipotético | 10,0m |
| 7h | Default | fluxo 5min | leve | 50 Km/h | R1 | com | hipotético | 16,0m |
| | | | | | | | | |
| 8a | Default | Leq(A) 48 fontes | - | - | - | - | real | 1,2m |
| 8b | Default | Fluxo 5min | leve | 50km/h | R1 | com | real | 1,2m |
| | | | | | | | | |
| 9a | Default | Leq(A) 17 fontes | - | - | - | - | real | 1,2m |
| 9b | Default | Fluxo 5min | leve | 50km/h | R1 | com | real | 1,2m |

(Fonte: Autora)

Complementando ainda as informações da tabela 6, ressalta-se que no caso da variável “motocicletas”, como se trata de um veículo leve, mas que chega a gerar ruídos equivalentes a veículos pesados, essa variável foi testada também computando-a como veículo pesado na simulação 3b, apesar da diferença de espectro existente entre essas fontes. Além disso, na variável “pavimento”, a denominação R1, R2 e R3 refere-se à classificação da superfície do pavimento constante da biblioteca do programa.

As correlações realizadas entre as simulações da tabela 6 para a comparação da sensibilidade do modelo às variáveis de entrada, são descritas na tabela 7. Cada correlação foi realizada para os três períodos em estudo (manhã, início da tarde e entardecer).

Tabela 7 - Correlações entre as simulações

| | Correlação | Configurações comparadas |
|-----------|-------------------|---|
| Análise 1 | 1a x 1b | Favorável / Homogêneo |
| | 1b x 1c | Homogêneo / Default |
| | 1c x 1d | Default / Aleatório |
| Análise 2 | 2a x 2b | Fluxo 5 min / Fluxo 1 hora |
| Análise 3 | 3a x 3b | Motocicleta em leve / Motocicleta em pesado |
| Análise 4 | 4a x 4b | 60 km/h / 50km/h |
| Análise 5 | 5a x 5b | Pavimento R1 /Pavimento R2 |
| | 5a x 5c | Pavimento R1/Pavimento R3 |
| Análise 6 | 6a x 6b | Com inclinação / Sem inclinação |
| Análise 7 | 7a x 7e | Real / Hipotético |
| | 7b x 7f | Real / Hipotético |
| | 7c x 7g | Real / Hipotético |
| | 7d x 7h | Real / Hipotético |
| Análise 8 | 8a x 8b | Leq(A) (48 fontes) / Fluxo |
| Análise 9 | 9a x9b | Leq(A)(17 fontes) / Fluxo |

(Fonte: Autora)

5.3.3. Análise de validação dos dados de saída

Foram feitas comparações entre os dados coletados e os dados simulados com o software Cadna-A. Essa comparação permite verificar a aproximação dos dados simulados com os dados registrados em campo, possibilitando assim verificar o grau de confiabilidade das simulações. Para isso as análises de validação se basearam no coeficiente de correlação e na diferença entre os dados comparados.

A validação permitiu verificar a configuração dos dados de entrada que gerassem a melhor precisão dos dados de saída, para a escolha daquela a ser aplicada para a realização do mapeamento final. As configurações adotadas nessas análises estão sistematizadas na Tabela 8.

Tabela 8 - Configurações das simulações para validação

| Configuração das simulações para validação e verificação do desempenho do modelo | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Análise | meteorologia | fonte | motocicleta | velocidade | pavimento | inclinação | cenário | altura receptor |
| Análise 1 | Default | fluxo 5 min | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2 m |
| Análise 2 | Default | fluxo 1 hora | leve | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2 m |
| Análise 3 | Default | fluxo 5 min | pesado | 50 Km/h | R1 | com | real | 1,2 m |
| Análise 4 | Default | fluxo 5 min | leve | 50 Km/h | R3 | com | real | 1,2 m |
| Análise 5 | Default | fluxo 5 min | leve | 50 Km/h | R1 | sem | real | 1,2 m |
| Análise 6 | Default | Leq(A) 48 fontes | - | - | - | - | real | 1,2 m |
| Análise 7 | Default | Leq(A) 17 fontes | - | - | - | - | real | 1,2 m |

(Fonte: Autora)

5.4. Mapeamento e Análise Acústica dos Resultados

Após análise de validação, foi selecionada a configuração dos dados de entrada que gerou a maior precisão dos dados de saída, sendo esta aplicada para a geração do mapa acústico de toda a área de estudo. Assim, a partir do modelo validado, foi possível estabelecer uma análise das características e tendências acústicas da área de estudo.

Esse procedimento permitiu identificar os pontos mais importantes para ações de controle.

6. Resultados e Análises

Para uma primeira análise e noção geral do contexto acústico em que se encontra a área de estudo, foi feito um panorama dos resultados obtidos nas coletas de campo. Na Tabela 9 são apresentados os valores mínimos, máximos e médias dos níveis de pressão sonora equivalente, por período, encontrados na área, além dos valores dos níveis estatísticos L10(A), L50(A) e L90(A) e do fluxo de veículos.

Tabela 9 – Média dos valores coletados

| | Manhã | Início da tarde | Entardecer |
|---|--------------|------------------------|-------------------|
| Leq(A) min. [dB(A)] | 60 | 60 | 62 |
| Leq(A) Max. [dB(A)] | 81 | 76 | 76 |
| Leq(A) média [dB(A)] | 69 | 68 | 68 |
| média L10(A) [dB(A)] | 72 | 71 | 71 |
| média L50(A) [dB(A)] | 56 | 63 | 63 |
| média L90(A) [dB(A)] | 63 | 55 | 57 |
| Média de Fluxo Veicular de 5min (unid.) | 41 | 55 | 56 |

(Fonte: Autora)

A Tabela 9 demonstra que a média dos valores de Leq(A) para os três períodos de medições são muito similares entre si, correspondendo à média de 68dB(A). Os valores mínimos encontrados (60, 60 e 62dB(A), respectivamente) superam os 55dB(A) recomendados pela NBR 10.151:2000 para zonas mistas, preferencialmente residenciais no período diurno, indicando que os pedestres estão sujeitos a níveis sonoros acima da aceitabilidade.

Foi encontrada a mesma semelhança no parâmetro estatístico L10(A), para o qual foram registrados valores médios de 72, 71 e 71dB(A), para cada um dos três horários de picos de medição. Isto significa que o ruído é muito intrusivo nesses

períodos e, conforme observação em campo, geralmente, é proveniente de motocicletas e ônibus.

As diferenças entre os valores dos períodos são notadas pelos parâmetros estatísticos L50(A) e L90(A). É possível verificar que o período da manhã tem o menor valor L50(A) e o maior valor de L90(A). Em relação aos demais períodos, os valores de L50(A) e L90(A) são similares em magnitude, devido à semelhança do fluxo veicular, enquanto o período da manhã possui menor fluxo de veículos.

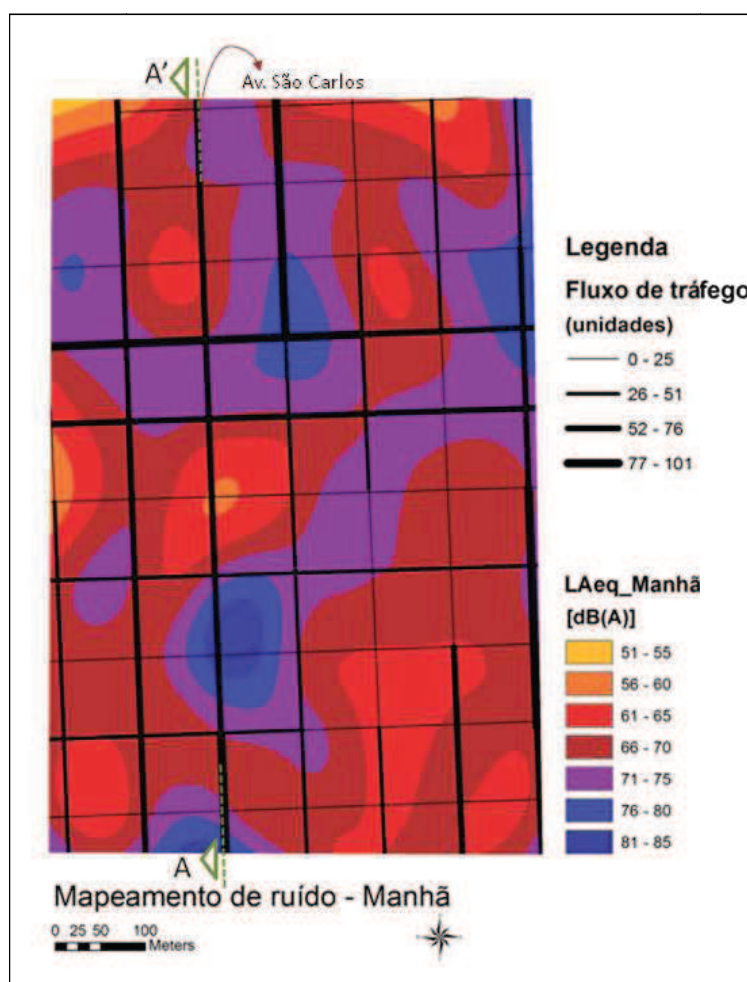
A média do parâmetro L90(A), que indica o ruído de fundo, também excede os 55dB(A), demonstrando que os arredores já conferem um ruído excessivo à área de estudo.

6.1. Tendências iniciais na distribuição espacial dos níveis de ruído

Os mapeamentos de ruído (Figuras 34, 36, e 38), realizados com o auxílio do software ArcGis, demonstram os níveis de pressão sonora equivalente coletados em campo e o fluxo de veículos nos três períodos simulados. Este tipo de mapeamento não permite uma análise tridimensional, mas auxilia no entendimento simplificado da distribuição espacial dos níveis encontrados na área e as tendências de propagação de ruído.

Para melhor compreensão dos mapeamentos, os histogramas (Figuras 35, 37 e 39) demonstram as porcentagens encontradas para cada faixa de ruído.

Figura 34 - Isolinhas para o período da manhã



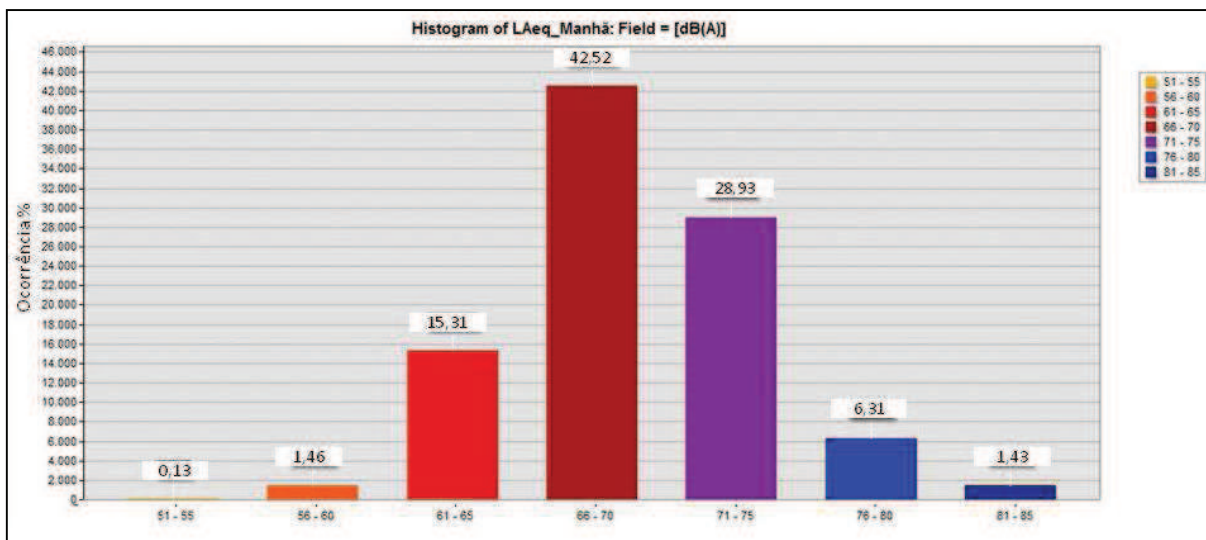
(Fonte: Autora)

A Figura 34 representa o mapeamento de ruído do horário de pico do período da manhã. A Figura mostra uma concentração dos ruídos mais intensos juntamente com os maiores fluxos de veículos. O ponto que apresenta maior nível de ruído (faixa de 81- 85 dB(A)) está localizado na avenida São Carlos (linha demarcada pelo corte AA' na Figura 34). Esse também representa o maior fluxo de veículos da área estudada. Essa é a principal avenida que cruza a área de estudo, a qual mantém o mesmo fluxo veicular ao longo de toda a extensão considerada na área de estudo.

A topografia da avenida possui grande diferença de nível altimétrico, variando 32 metros de altitude do ponto mais baixo ao mais alto, e os veículos têm fluxo em movimento ascendente, com sentido sul-norte (Figura 34).

Observa-se também que, ao longo dessa avenida, o ponto que registrou o nível de ruído menos intenso (56 a 60 dB(A)) ocorre no cruzamento de uma via transversal, a qual apresenta o menor fluxo veicular.

Figura 35 - Histograma para o período da manhã



(Fonte: Autora)

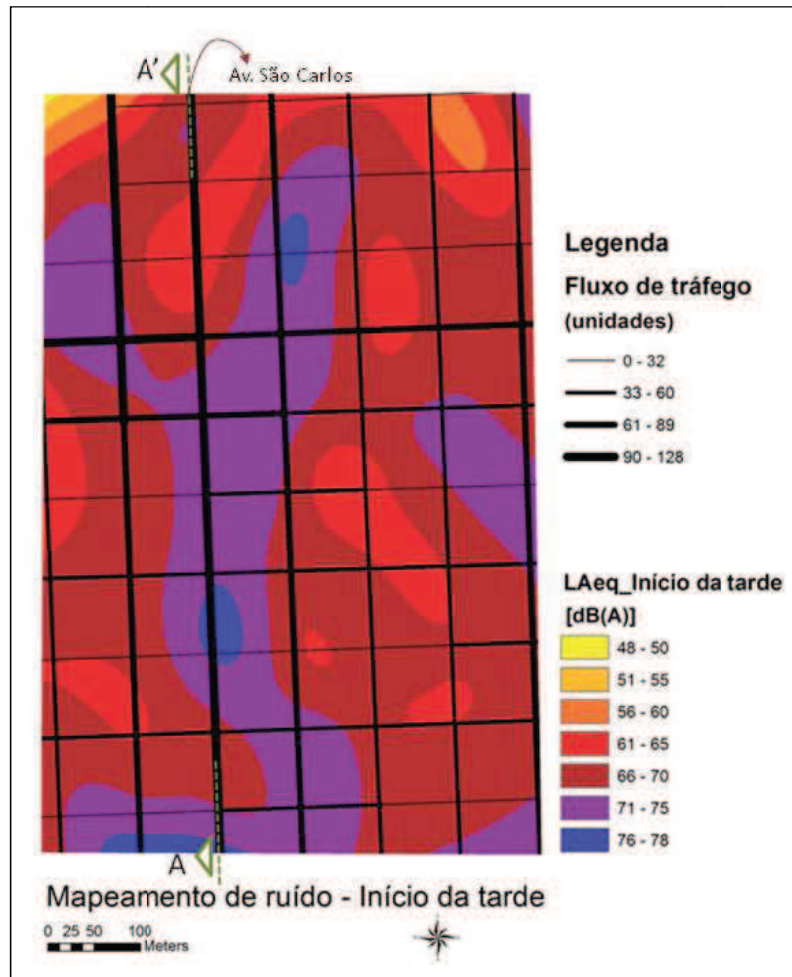
O histograma referente ao período da manhã (Figura 35) mostra que praticamente todos os pontos estão acima dos níveis recomendados para este tipo de região (55dB(A)), com exceção de menos de 1%. Mais de 80% dos pontos de medição apresentaram valores acima de 65 dB(A). A faixa de 66 a 70 dB(A) é a predominante, que corresponde a mais de 40% dos pontos. Neste período, ainda foi encontrado cerca de 6% na faixa de 76 a 80 dB(A) e 1,5% dos pontos no intervalo de 81 a 85 dB(A). Assim, embora as médias apresentadas na tabela 9 mostrem que as diferenças de L10(A) e L90(A) nesse período são as mais baixas, este período foi responsável pelo maior valor de todos os períodos.

A Figura 36 representa o período do início da tarde, revelando um ambiente acústico mais homogêneo do que da manhã. Nela observa-se uma expansão espacial das faixas de 71 a 75 dB(A).

As análises em conjunto dos mapeamentos, histogramas e tabelas tornam-se especialmente úteis, para a melhor compreensão dos resultados. A quantificação dos valores, por si só, não permite expressar a tendência espacial que o mapa

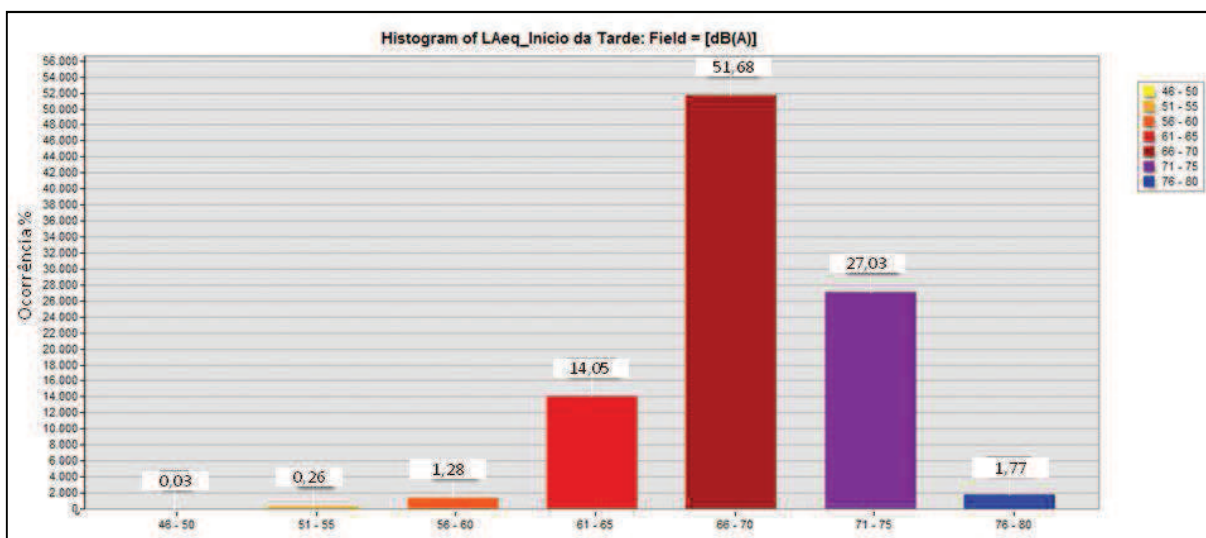
revela. Embora de uma forma muito simples e visual, o mapa mostra que a avenida é um núcleo importante, que determina as condições acústicas dos arredores.

Figura 36 - Isolinhas de ruído para o período do início da tarde



(Fonte: Autora)

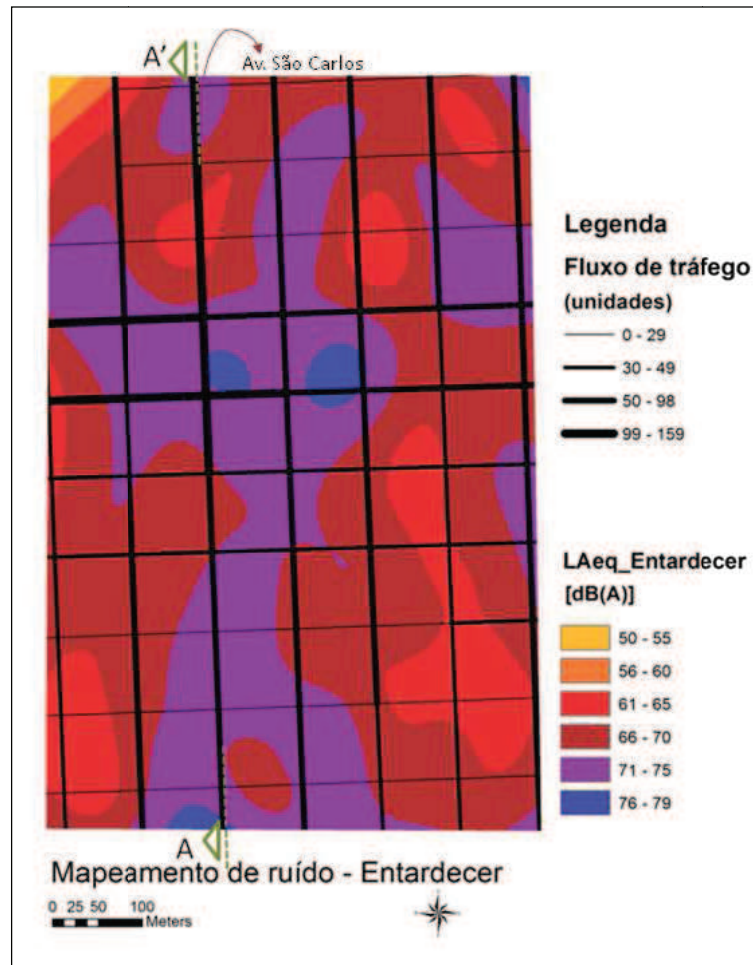
Figura 37 - Histograma para o período do início da tarde



(Fonte: Autora)

Na análise do histograma do período do início da tarde (Figura 37), há alguns pontos dentro dos limites aceitáveis pela norma NBR10.151:2000. Porém a faixa de 66 a 75 dB(A) ainda é predominante, atingindo 51% dos pontos, e com uma pequena porcentagem dos níveis máximos atingindo a faixa de 76 a 78 dB(A).

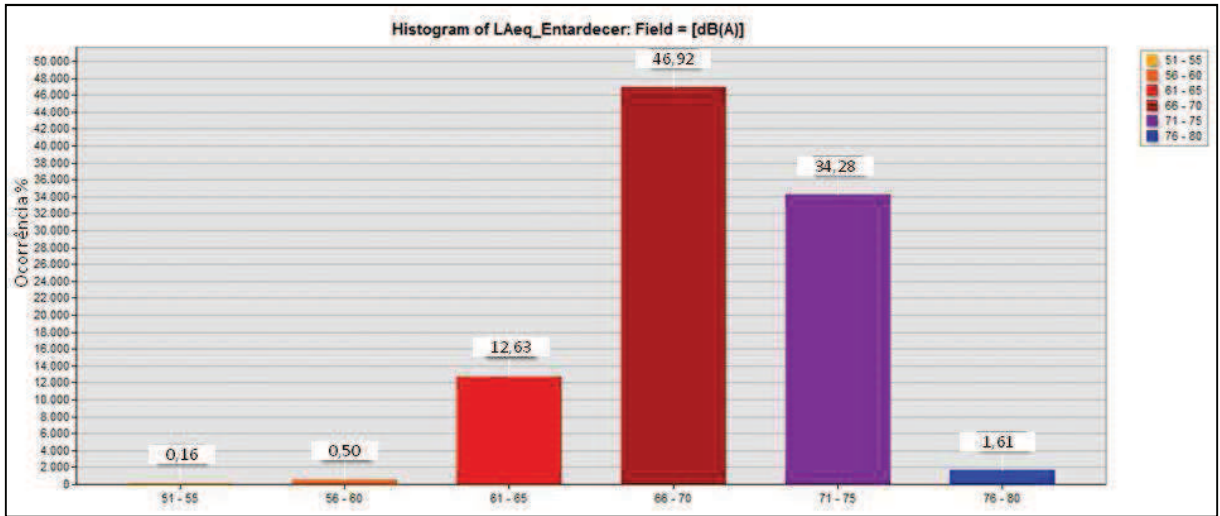
Figura 38 - Isolinhas de ruído para o período do entardecer



(Fonte: Autora)

Na Figura 38, o mapa mostra que na hora de pico do fim da tarde, a área também apresenta condições acima do limite aceitável pela norma. As isolinhas indicam um ambiente similar entre os períodos da tarde, não apenas nos níveis de ruído, mas nas tendências e no fluxo veicular.

Figura 39 - Histograma para o período do entardecer

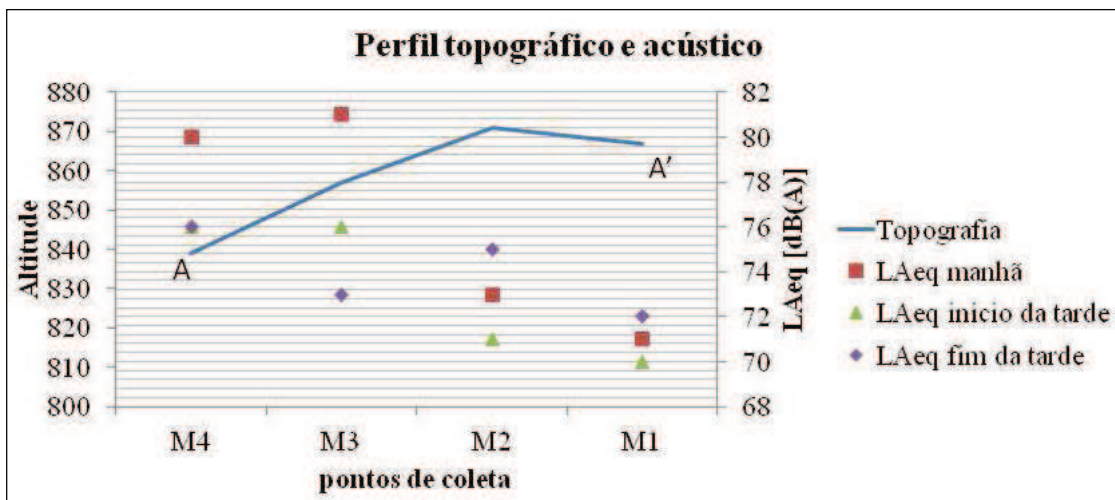


(Fonte: Autora)

No histograma referente ao período do entardecer (Figura 39), mais de 80% dos pontos está acima de 60 dB(A). Além disso, a faixa de 71 a 75 dB(A) se destaca dos outros períodos, alcançando quase 35% de ocorrência e os 45% da faixa de 66 a 70 dB(A) mantem-se estável,

Detalhando o perfil topográfico da avenida São Carlos, o qual apresentou o ambiente sonoro mais desfavorável para os pedestres, a Figura 40 representa a sua declividade e seu nível acústico médio.

Figura 40 - Perfil A e A' da Avenida São Carlos



(Fonte: Autora)

É possível observar que os dois níveis mais altos de ruído estão presentes numa situação onde o fluxo de veículos acompanha a inclinação ascendente da via e em um ponto médio da subida (pontos M4 e M3 da Figura 40). Isto pode ter ocorrido pela mudança de velocidade ou marchas dos veículos devido à inclinação. Comparando com a condição na qual os veículos possuem fluxo na inclinação descendente, na situação ascendente os níveis são superiores, com exceção do período do entardecer (ponto M3).

Levando-se em conta todos os dados de ruído e a configuração da área de estudo, é possível perceber a fragilidade acústica desta região. Não são apenas os conflitos para os pedestres, mas a incompatibilidade do que está previsto em seu planejamento atual, que incentiva a intensificação do seu uso residencial. Essa análise inicial, no entanto, é limitada, havendo necessidade da complementação estabelecida pelos resultados apresentados no tópico subsequente.

6.2. Simulação e Validação do modelo NMPB Routes 2008

Conforme descrito na metodologia (resumido nas Tabelas 6 e 7 do capítulo 5), as análises de sensibilidade das variáveis de entrada foram realizadas e em seguida as análises de validação dos dados de saída foram desenvolvidas (resumidas na Tabela 8 do capítulo 5). Os resultados são aqui apresentados nos tópicos 6.2.1 e 6.2.2, em forma de fichamento.

6.2.1 – Fichas de Análise de Sensibilidade do Modelo

As correlações de análise de sensibilidade do modelo são apresentadas nas Fichas de Análise de Sensibilidade, que são numeradas por Análise de 1 a 9. Essas fichas são compostas por campos que apresentam a configuração aplicada às variáveis de entrada, os resultados das correlações, algumas considerações e análise resultante.

Resultados específicos que embasaram a construção dessas Fichas de Análise de Sensibilidade são detalhadamente apresentados nos Apêndices de I a Q, conforme a correspondência referenciada em cada uma das fichas.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE
ANÁLISE 1 (Variável testada: condições meteorológicas)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 1a | Favorável | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 1b | Homogêneo | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 1c | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 1d | Aleatório | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice I)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)]≠ | Obs. |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|----------------|----------------|------------------------|-----------------------|
| Análise 1 | 1a x 1b | Manhã | 1,2m | 0,99 | 0,01 | -0,1 | 0,1 | 0,05 | Favorável > Homogêneo |
| | 1a x 1b | Início da tarde | 1,2m | 1,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | Favorável ~ Homogêneo |
| | 1a x 1b | Entardecer | 1,2m | 0,99 | 0,01 | -0,1 | 0,1 | 0,05 | Favorável > Homogêneo |
| | 1b x 1c | Manhã | 1,2m | 0,99 | 0,01 | -0,1 | 0,1 | 0,04 | Default > Homogêneo |
| | 1b x 1c | Início da tarde | 1,2m | 1,00 | 0 | 0 | 0 | 0 | Default ~ Homogêneo |
| | 1b x 1c | Entardecer | 1,2m | 0,99 | 0,01 | -0,1 | 0,1 | 0,05 | Default > Homogêneo |
| | 1c x 1d | Manhã | 1,2m | 0,98 | 1,0 | -0,1 | 1,8 | 0,65 | Aleatório > Default |
| | 1c x 1d | Início da tarde | 1,2m | 0,98 | 1,1 | 0 | 1,7 | 0,67 | Aleatório > Default |
| | 1c x 1d | Entardecer | 1,2m | 0,98 | 1,1 | 0 | 1,7 | 0,67 | Aleatório > Default |

Considerações e Análise

Nesse teste foram verificadas as diferenças geradas nos dados de saída, a partir da alteração do dado de entrada referente às condições meteorológicas.

Os coeficientes de correlação (R) para a aderência entre os dados favorável (simulação 1a) x homogêneo (simulação 1b) e homogêneo (simulação 1b) x Default (simulação 1c) obtiveram valores de 0,99 com variação nas diferenças entre os dados simulados de -0,1 a 0,1 dB(A). Esses valores podem ser considerados desprezíveis.

Para a simulação com a condição meteorológica em aleatório, também não houve diferença significativa, apresentado alto coeficiente de correlação entre os dados e diferenças entre os valores dos resultados das simulações que variam -0,1 a 1,8 dB(A).

Os resultados das simulações não demonstraram sensibilidade relevante entre as condições favoráveis, homogêneas e default, pois as diferenças não são significativas.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE
ANÁLISE 2 (Variável testada: tempo de amostragem de fluxo de veículos)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|--------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 2a | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2 |
| 2b | Default | Fluxo 1 hora | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2 |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice J)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs. |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------|------------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------------|
| Análise 2 | 2a x 2b | Manhã | 1,2m | 0,98 | -11 | -12 | -6 | 0,76 | Fluxo 5min < Fluxo 1 hora |
| | 2a x 2b | Início da tarde | 1,2m | 0,96 | -11 | -11 | -6 | 0,72 | Fluxo 5min < Fluxo 1 hora |
| | 2a x 2b | Entardecer | 1,2m | 0,97 | -11 | -13 | -6 | 0,80 | Fluxo 5min < Fluxo 1 hora |

Considerações e Análise

No teste da variável de entrada relativa ao tempo de amostragem do fluxo de veículos, foram comparados os resultados para os dados de entrada relativos ao fluxo de 5 minutos (simulação 2a) e os dados extrapolados para o fluxo de 1 hora (simulação 2b).

Os dados demonstraram alta correlação em si, porém a média das diferenças entre as simulações foi de -11 dB(A), com variações de -13 a -6 dB(A) para o fluxo de 1 hora, bem mais elevado que o valor do fluxo de 5 minutos. O modelo mostra, portanto, sensibilidade para essa variável, com certa tendência a um padrão de diferenças significativas.

Devido a grande diferença entre valores, ambas simulações precisam ser correlacionadas com a coleta de dados, para averiguar qual dos modelos é mais condizente com os valores medidos.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

ANÁLISE 3 (Variável testada: motocicletas como veículos leves ou pesados)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 3a | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 3b | Default | Fluxo 5min | Pesado | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice K)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)] | Min. [dB(A)] | Max. [dB(A)] | Desvio Padrão [dB(A)] | Obs. |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------|---------------|--------------|--------------|-----------------------|-------------------------|
| Análise 3 | 3a x 3b | Manhã | 1,2m | 0,91 | -2 | -6 | 0 | 1,55 | mot. leve < mot. pesado |
| | 3a x 3b | Início da tarde | 1,2m | 0,87 | -2 | -5 | 0 | 1,42 | mot. leve < mot. pesado |
| | 3a x 3b | Entardecer | 1,2m | 0,89 | -2 | -5 | 0 | 1,54 | mot. leve < mot. pesado |

Considerações e Análise

Por não haver um campo específico para as motocicletas na inserção de dados das fontes, embora elas se enquadrem em veículos leves, a emissão sonora destes veículos não condiz com os mesmos. Desta forma, esse teste simulou as motocicletas tanto como veículo leve (simulação 3a), como na porcentagem junto aos veículos pesados (simulação 3b), mesmo sabendo-se que os seus espectros sonoros são diferenciados.

Os resultados mostram que apesar de diferenças entre as simulações, há uma boa correlação entre os dados. A variação entre as simulações foi de -6 a 0 dB(A), com média de -2 dB(A). As simulações com as motocicletas em veículos leves obtiveram menores valores do que as simulações com as motocicletas em veículos pesados.

Assim, houve diferença significativa nos resultados e com tendência a um padrão, já que a correlação foi alta. Indica-se, portanto que ambas as simulações sejam estudadas na validação dos modelos para analisar a que melhor se aplica para a situação em estudo.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE
ANÁLISE 4 (Variável testada: velocidade dos veículos)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 4a | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 4b | Default | Fluxo 5min | Leve | 60 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice L)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs. |
|--------------|------------|-----------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-----------------|
| Análise 4 | 4a x 4b | Manhã | 1,2m | 0,99 | 1 | 1 | 2 | 0,3 | 60km/h > 50km/h |
| | 4a x 4b | Início da tarde | 1,2m | 0,99 | 1 | 1 | 2 | 0,4 | 60km/h > 50km/h |
| | 4a x 4b | Entardecer | 1,2m | 0,99 | 1 | 1 | 2 | 0,4 | 60km/h > 50km/h |

Considerações e Análise

A velocidade foi o dado de entrada testado nessa análise, sendo alterado entre 50 km/h (simulação 4a) e 60 km/h (simulação 4b).

Entre as simulações, os dados foram bem correlacionados com R de 0,99. Nas diferenças entre os resultados das simulações, houve um aumento de 1dB(A) na simulação com maior velocidade. Nessa situação, a sensibilidade do modelo demonstra um padrão na diferença, que equivale a um aumento de 1 dB(A) ao aumentar a velocidade em 10 km/h.

Diante dos resultados, conclui-se que é adequado manter a velocidade de 50 km/h no teste de validação, pois na área em estudo as vias não apresentam velocidade de circulação de veículos superior a essa.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE
ANÁLISE 5 (Variável testada: tipo de pavimento)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 5a | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 5b | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R2 | Com | Real | 1,2m |
| 5c | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R3 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice M)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)] | Min. [dB(A)] | Max. [dB(A)] | Desvio Padrão [dB(A)] | Obs. |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------|---------------|--------------|--------------|-----------------------|---------|
| Análise 5 | 5a x 5b | Manhã | 1,2m | 0,99 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | R1 > R2 |
| | 5a x 5b | Início da tarde | 1,2m | 0,99 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | R1 > R2 |
| | 5a x 5b | Entardecer | 1,2m | 0,99 | 1 | 0 | 1 | 0,3 | R1 > R2 |
| | 5a x 5c | Manhã | 1,2m | 0,99 | -3 | -3 | -2 | 0,5 | R1 < R3 |
| | 5a x 5c | Início da tarde | 1,2m | 0,98 | -3 | -3 | -2 | 0,4 | R1 < R3 |
| | 5a x 5c | Entardecer | 1,2m | 0,99 | -3 | -3 | -2 | 0,5 | R1 < R3 |

Considerações e Análise

As diferenças geradas pela mudança do tipo de pavimento foram testadas nessa análise, sendo considerado os pavimentos existentes na biblioteca do programa, ou seja, R1 (simulação 5a), R2 (simulação 5b) e R3 (simulação 5c).

Os dados foram bem correlacionados entre si, variando os coeficientes de correlação entre 0,98 e 0,99. As diferenças entre os resultados foi maior entre o R1 e R3 do que entre R1 e R2, mostrando, portanto, maior sensibilidade do modelo quando alterado de R1 para R3. O teste com R2 revelou que os resultados tendem a subestimar os valores de maneira ainda mais intensa do que com o R1.

Nesse caso, os pavimentos R1 e R3 são indicados para a comparação com os dados coletados em campo, para fins de validação e verificação da melhor configuração a ser aplicada.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE
ANÁLISE 6 (Variável testada: inclinação)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 6a | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 6b | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Sem | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice N)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)]] | Min. [dB(A)]] | Max. [dB(A)]] | Desvio Padrão [dB(A)]] | Obs. |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-----------|
| Análise 6 | 6a x 6b | Manhã | 1,2m | 0,96 | 0,7 | -0,2 | 2,4 | 1,0 | com > sem |
| | 6a x 6b | Início da tarde | 1,2m | 0,93 | 0,7 | -0,2 | 2,4 | 1,0 | com > sem |
| | 6a x 6b | Entardecer | 1,2m | 0,95 | 0,7 | -0,2 | 2,4 | 1,0 | com > sem |

Considerações e Análise

Para esse teste, a variável verificada foi a inclinação da via. Em cada fonte de vias inserem-se dados de fluxo em relação à inclinação, ou seja, se é uma via ascendente, descendente ou “estabilizada”. As simulações foram realizadas inserindo-se as informações coletadas em campo das características de fluxo em relação à inclinação das vias, assim como também foram simuladas com inserção da condição “estabilizadas” em todas as vias.

O modelo demonstrou que há uma sensibilidade para essa variável, com diferença entre as simulações de -0,2 a 2,4 dB(A). A simulação com inserção das inclinações das vias resultou em valores maiores do que as simulações sem a inserção das inclinações.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

ANÁLISE 7 (Variável testada: cenário das edificações e altura do receptor)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|------------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 7a | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |
| 7b | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 4,0m |
| 7c | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 10,0m |
| 7d | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 16,0m |
| 7e | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Hipotético | 1,2m |
| 7f | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Hipotético | 4,0m |
| 7g | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Hipotético | 10,0m |
| 7h | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Hipotético | 16,0m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice O)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs. |
|--------------|------------|-----------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| Análise 7 | 7a x 7e | Manhã | 1,2m | 0,99 | 0,01 | 0 | 0,1 | 0,03 | Real > hipotético |
| | 7a x 7e | Início da tarde | 1,2m | 0,99 | 0,01 | 0 | 0,1 | 0,02 | Real > hipotético |
| | 7a x 7e | Entardecer | 1,2m | 1,0 | 0,01 | 0 | 0,1 | 0,02 | Real > hipotético |
| | 7b x 7f | Manhã | 4,0m | 0,99 | 0,04 | 0 | 0,3 | 0,06 | Real > hipotético |
| | 7b x 7f | Início da tarde | 4,0m | 0,99 | 0,02 | 0 | 0,2 | 0,05 | Real > hipotético |
| | 7b x 7f | Entardecer | 4,0m | 0,99 | 0,03 | 0 | 0,4 | 0,07 | Real > hipotético |
| | 7c x 7g | Manhã | 10,0m | 0,99 | 0,2 | 0 | 1,8 | 0,3 | Real > hipotético |
| | 7c x 7g | Início da tarde | 10,0m | 0,99 | 0,2 | 0 | 1,2 | 0,2 | Real > hipotético |
| | 7c x 7g | Entardecer | 10,0m | 0,99 | 0,2 | 0 | 1,8 | 0,3 | Real > hipotético |
| | 7d x 7h | Manhã | 16,0m | 0,99 | 1 | 0 | 3 | 0,6 | Real > hipotético |
| | 7d x 7h | Início da tarde | 16,0m | 0,99 | 0,4 | 0 | 2 | 0,4 | Real > hipotético |
| | 7d x 7h | Entardecer | 16,0m | 0,98 | 0,5 | 0 | 3 | 0,5 | Real > hipotético |

Considerações e Análise

Nesta análise foi realizada a simulação com o cenário real, baseada na coleta de alturas dos edifícios, e com o cenário hipotético, aumentando a altura de todas as edificações. Os receptores foram colocados a 1,2 m, 4 m, 10 m e 16 m de altura.

Nos gráficos do Apêndice O, é possível observar que para as alturas de 1,2 m e 4 m não houve mudanças significativas na propagação sonora com a mudança de cenário, uma vez que as diferenças foram inferiores a 1 dB(A). Na altura de 10 m houve diferenças de até

1,8 dB(A) e na altura de 16 m houve uma maior alteração, com diferença de até 3 dB(A). Em todos os casos, no cenário real foram obtidos valores maiores que no cenário hipotético.

Ao contrário do esperado, para essa variável houve pouca sensibilidade do modelo para as alturas de 1,2 e 4m, porém maior sensibilidade para 10 e 16m.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

ANÁLISE 8 (Variável testada: fonte para 48 pontos de referência)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 8a | Default | Leq(A) 48 fontes | - | - | - | - | Real | 1,2m |
| 8b | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice P)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)]] | Min. [dB(A)]] | Max. [dB(A)]] | Desvio Padrão [dB(A)]] | Obs. |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------|
| Análise 8 | 8a x 8b | Manhã | 1,2m | 0,80 | 1 | -3 | 7 | 2,6 | Leq(A) > Fluxo |
| | 8a x 8b | Início da tarde | 1,2m | 0,59 | -1 | -7 | 7 | 2,7 | Leq(A) < Fluxo |
| | 8a x 8b | Entardecer | 1,2m | 0,79 | -1 | -6 | 4 | 2,1 | Leq(A) < Fluxo |

Considerações e Análise

Essa análise correlaciona os dois tipos de fontes possíveis como input: a fonte a partir do nível de pressão sonora equivalente [Leq(A)] coletado nos 48 pontos; e a fonte a partir do fluxo de veículos (no caso de 5 minutos) nos mesmos pontos.

O coeficiente de determinação dessa análise de fonte sonora foi baixo, demonstrando uma correlação considerada média a baixa entre as simulações. O período da manhã apresentou R de 0,80, o início da tarde de 0,59 e o entardecer de 0,79. As variações das diferenças das simulações ficou entre -7 a 7 dB(A), com média das diferenças de 1 e -1 dB(A).

Para o período da manhã, a simulação com a fonte inserida em Leq(A) resultou valores maiores que a simulação com o fluxo de veículos de 5 minutos. Para os demais períodos a simulação em Leq(A) resultou valores menores que o fluxo de veículos de 5 minutos, não havendo uma constância nesse caso.

Como foi observada sensibilidade do modelo nesses casos, os dois tipos de entrada devem ser validados com a comparação dos dados coletados para a verificação da melhor configuração.

FICHA DE ANÁLISE DE SENSIBILIDADE

ANÁLISE 9 (Variável testada: fonte para 17 pontos de referência)

| Configurações das variáveis de entrada | | | | | | | | |
|--|--------------|------------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
| 9a | Default | Leq(A) 17 fontes | - | - | - | - | Real | 1,2m |
| 9b | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados das Correlações (detalhes no Apêndice Q)

| | Correlação | Período | Altura receptor | R | Média [dB(A)]] | Min. [dB(A)]] | Max. [dB(A)]] | Desvio Padrão [dB(A)]] | Obs. |
|-----------|------------|-----------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|----------------|
| Análise 9 | 9a x 9b | Manhã | 1,2m | 0,80 | 0 | -6 | 7 | 2,8 | Leq(A) ~ Fluxo |
| | 9a x 9b | Início da tarde | 1,2m | 0,52 | -1 | -7 | 8 | 3,0 | Leq(A) < Fluxo |
| | 9a x 9b | Entardecer | 1,2m | 0,69 | 0 | -6 | 8 | 2,8 | Leq(A) ~ Fluxo |

Considerações e Análise

Com a intenção de minimizar o tempo de execução de um possível mapeamento para torná-lo mais prático, foi realizado um estudo considerando o número de pontos mínimos necessário para a realização das simulações na área de estudo. Nesse caso, foi necessário um ponto em cada eixo de via, resultando no mínimo de 17 pontos de referência como fonte sonora.

Para esta análise, o período da manhã manteve a mesma correlação da análise feita anteriormente para 48 pontos, com R de 0,80. Para os demais períodos houve uma diminuição dos valores de correlação, indicando que houve sensibilidade do modelo ao número de dados de entrada. As diferenças variaram entre valores de -7 a 8 dB(A), porém a média ficou entre -1 a 0 dB(A).

No geral, pelas análises de sensibilidade, pôde-se constatar que o modelo oferece sensibilidade à maioria das variáveis testadas, porém, para a variável de condições meteorológicas, as diferenças encontradas não foram significativas.

Juntando-se esse fato ao procedimento indicado pela Agência Portuguesa (2009), de ser utilizada a condição Default para os casos em que não há disponibilidade dos dados meteorológicos anuais, optou-se por aplicar a entrada meteorológica Default às próximas simulações de validação .

6.2.2 – Fichas de Análise de Validação

As correlações de validação para escolha do modelo de melhor precisão nos resultados são feitas nas Fichas de Análise de Validação, que são numeradas por Análise de 1 a 7. Essas fichas são compostas por informações sobre a configuração dos dados, pela síntese dos resultados das correlações, pelo gráfico das diferenças encontradas entre simulação e dados coletados e pela análise geral da precisão do modelo com aqueles dados de entrada.

Os resultados que embasam as informações contidas nas Fichas de Análise de Validação encontram-se detalhados nos Apêndices de R a W. A correspondência específica de cada um deles é referenciada nas fichas.

No caso da verificação da validação, a Agência Portuguesa do Ambiente indica que a faixa de diferença entre valores simulados e coletados esteja entre $\pm 2\text{dB(A)}$. Esse limite é menos restritivo em WG3 (2001 apud SILVA, 2010), para o qual são aceitas diferenças de $\pm 3\text{ dB(A)}$ e ainda, para áreas urbanas, expande-se essa margem de erro para $\pm 4\text{ dB(A)}$.

FICHA DE ANÁLISE DE VALIDAÇÃO

ANÁLISE 1 (Verificador: Fonte fluxo de 5 minutos)

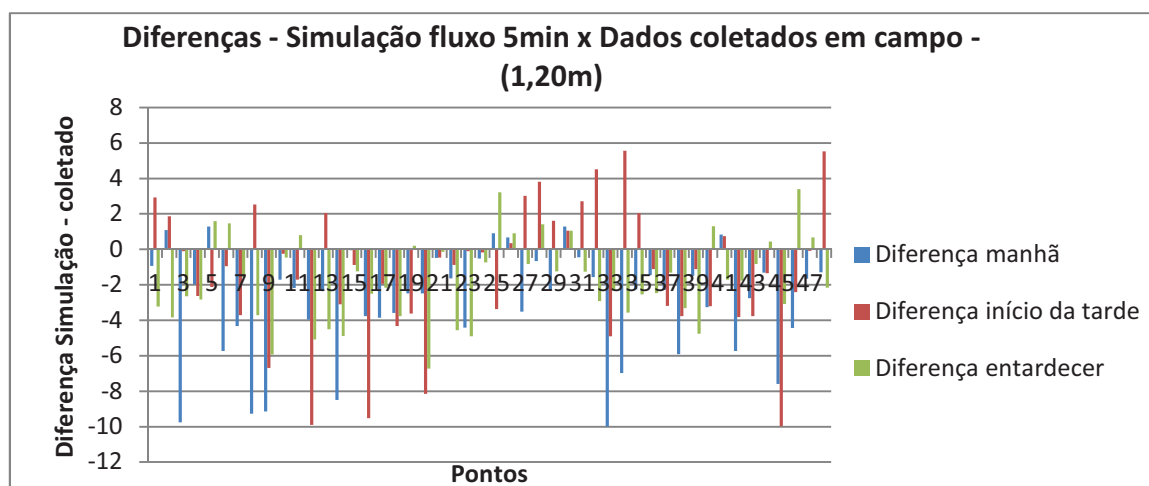
Configuração das variáveis de entrada

| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação A | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 Km/h | R1 | Com | Real | 1,2 |

Síntese dos Resultados de Correlação (detalhe no Apêndice R)

| Correlação | Período | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs |
|-------------------------------|-----------------|------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------|
| Simulação A x Dados coletados | Manhã | 0,75 | -3 | -10 | 1 | 3,0 | Simulado < Coletado |
| | Início da tarde | 0,37 | -1 | -10 | 6 | 3,7 | Simulado < Coletado |
| | Entardecer | 0,76 | -2 | -7 | 3 | 2,35 | Simulado < Coletado |

Comparação entre Dados Reais e Simulados



Análise Geral

Nas diferenças entre a simulação e os dados reais, percebe-se que a média das diferenças é de -3 e -1 dB(A), porém com pontos que variam de -10 dB(A) a 6 dB(A) de diferença. Embora existam pontos que se afastem do valor real, tem-se 72% dos pontos da manhã dentro da faixa de ± 4 dB(A), 79% no período do início da tarde e 83% no entardecer.

O gráfico também mostra que há uma tendência dos valores da simulação subestimarem os valores reais, tendo-se valores abaixo do que aqueles coletados.

Para o valor de R, a melhor resposta foi para a configuração do período da manhã e para o entardecer (0,75 e 0,76). Para o início da tarde, o valor foi muito abaixo do esperado (0,37), indicando que o mapeamento da área não deve se basear nessa configuração para esse período.

FICHA DE ANÁLISE DE VALIDAÇÃO
ANÁLISE 2 (Verificador: Fonte fluxo de 1 hora)

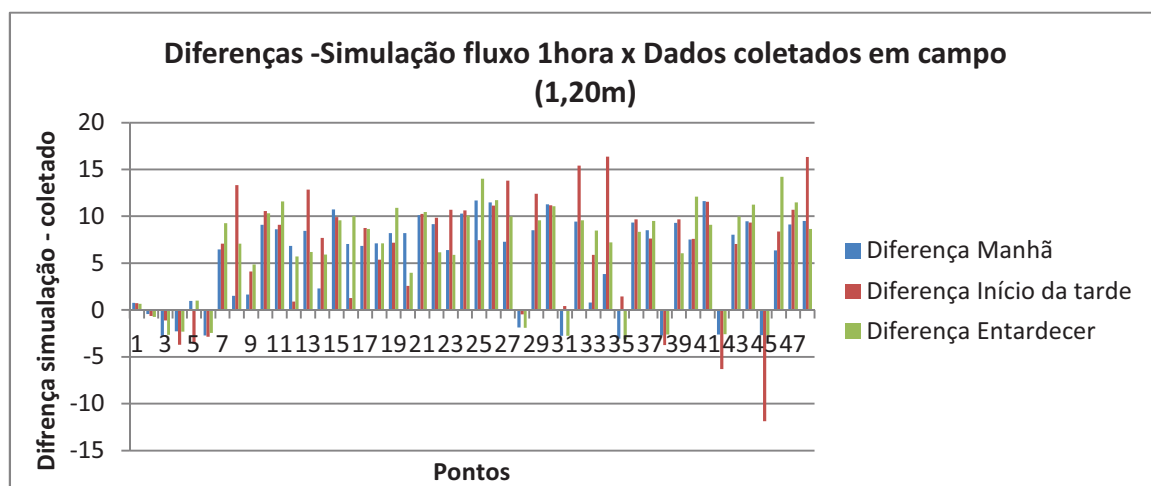
Configuração das variáveis de entrada

| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação B | Default | Fluxo 1 hora | Leve | 50 Km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados de Correlação (detalhe no Apêndice S)

| Correlação | Período | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs |
|----------------------------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|
| Simulação B x Dados coletados | Manhã | 0,58 | 5 | -3 | 12 | 4,9 | Simulado > coletado |
| | Início da tarde | 0,34 | 6 | -12 | 16 | 6,3 | Simulado > coletado |
| | Entardecer | 0,5 | 6 | -3 | 14 | 5,2 | Simulado > coletado |

Comparação entre Dados Reais e Simulados



Análise Geral

Os coeficientes de correlação continuaram abaixo do esperado, com 0,58 para o período da manhã, 0,34 para o início da tarde e 0,5 para o entardecer.

Observando-se o gráfico das diferenças encontram-se valores muito altos. As médias das diferenças entre os dados simulados e os dados coletados em campo estão entre 5,6 e 6 dB(A). O valor máximo de diferença foi de até 16 dB(A), superestimando a simulação em relação aos dados reais e extrapolando a faixa aceitável de ± 4 dB(A) para validação da simulação.

O resultado indica que a configuração de entrada com o fluxo de 5 min, anteriormente analisada (Análise de Validação 1), foi mais adequado do que a de 1 hora.

FICHA DE ANÁLISE DE VALIDAÇÃO

ANÁLISE 3 (Verificador: fonte fluxo de 5 minutos, com motocicletas na porcentagem de veículos pesados)

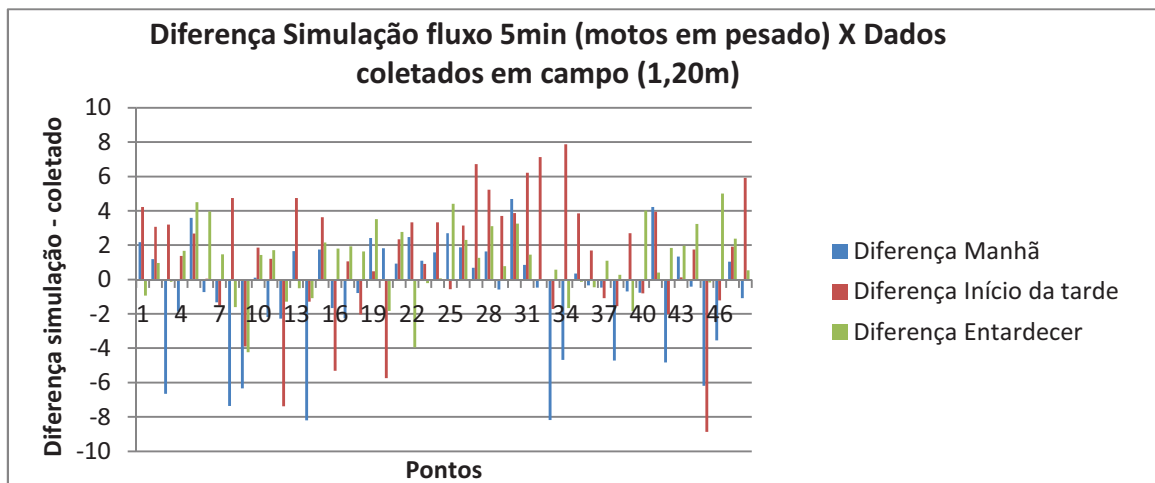
Configuração das variáveis de entrada

| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação C | Default | Fluxo 5min | Pesado | 50 Km/h | R1 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados de Correlação (detalhe no Apêndice T)

| Correlação | Período | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs |
|-------------------------------|-----------------|------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------|
| Simulação C x Dados coletados | Manhã | 0,72 | -1 | -8 | 5 | 3,2 | Simulado < Coletado |
| | Início da tarde | 0,37 | 1 | -9 | 8 | 3,6 | Simulado > Coletado |
| | Entardecer | 0,81 | 1 | -4 | 6 | 2,0 | Simulado > Coletado |

Comparação entre Dados Reais e Simulados



Análise Geral

Nessa análise as motocicletas foram inseridas na porcentagem de veículos pesados.

Embora para o período da manhã o coeficiente de determinação tenha diminuído um pouco em relação à Análise de Validação 1, para o período do entardecer houve uma pequena melhora.

A média de diferenças entre os dados foi de -1 a 1dB(A), com variação de -8 a 8 dB(A). Dos valores encontrados nessa simulação, 77% do período da manhã está dentro da faixa de ± 4 dB(A), 72% para o período do início da tarde e 91% para o entardecer.

A simulação do período da manhã subestima os dados reais e as dos demais períodos superestimam-os.

FICHA DE ANÁLISE DE VALIDAÇÃO

ANÁLISE 4 (Verificador: Fonte fluxo de 5 minutos com pavimento R3)

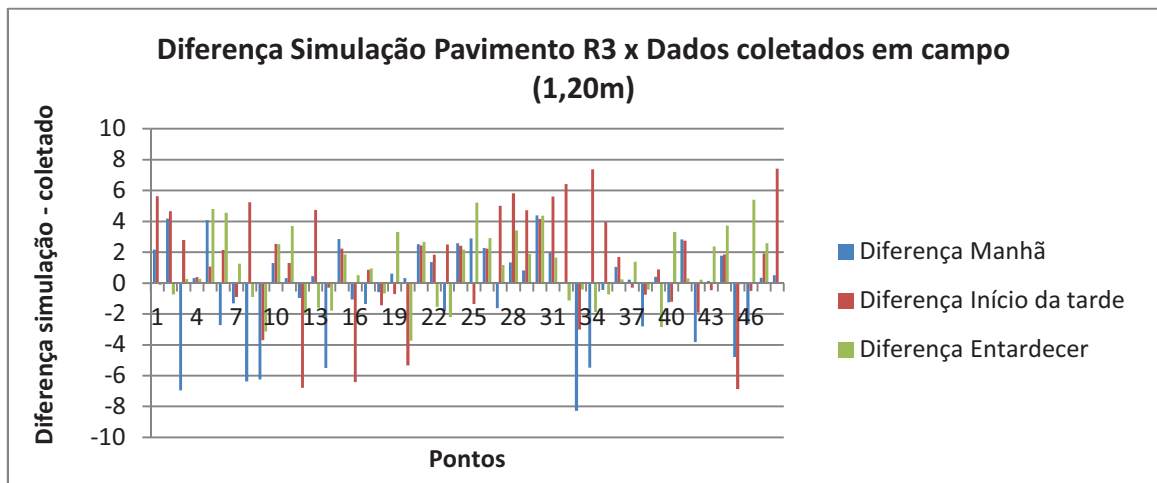
Configuração das variáveis de entrada

| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação D | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 Km/h | R3 | Com | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados de Correlação (detalhe no Apêndice U)

| Correlação | Período | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs |
|-------------------------------|-----------------|------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------|
| Simulação D x Dados coletados | Manhã | 0,75 | 0 | -8 | 4 | 3,0 | Simulado ~ Coletado |
| | Início da tarde | 0,40 | 1 | -7 | 7 | 3,5 | Simulado > Coletado |
| | Entardecer | 0,75 | 1 | -4 | 5 | 2,3 | Simulado > Coletado |

Comparação entre Dados Reais e Simulados



Análise Geral

Esta análise verifica a variável de entrada do tipo de pavimento R3.

O coeficiente de determinação para o período da manhã foi de 0,75, o do período de início da tarde foi de 0,40 e do entardecer foi de 0,75, não havendo melhoras se comparados aos resultados da Análise de Validação 1, para a qual foi simulado com o pavimento R1.

Nos gráficos de diferenças, a média para o período da manhã foi de 0 (uma vez que os valores positivos e os negativos se equilibraram), para o período do início da tarde e do entardecer foi de 1 dB(A). Os resultados indicam que essas últimas simulações tiveram uma tendência de valores mais altos que os valores coletados em campo, com 81% e 89% dos valores entre as faixas de ± 4 dB(A) para o período da manhã e do entardecer, respectivamente.

FICHA DE ANÁLISE DE VALIDAÇÃO

ANÁLISE 5 (Verificador: Fonte fluxo de 5 minutos, sem uso de declividade nas vias)

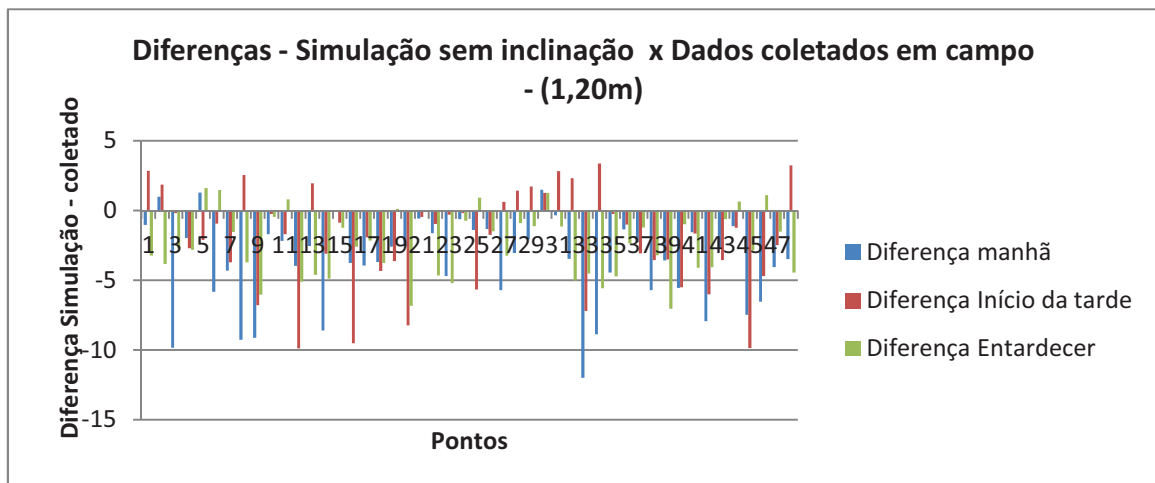
Configuração das variáveis de entrada

| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
|-------------|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação E | Default | Fluxo 5min | Leve | 50 Km/h | R1 | Sem | Real | 1,2m |

Síntese dos Resultados de Correlação (detalhe no Apêndice V)

| Correlação | Período | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs |
|-------------------------------|-----------------|------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------|
| Simulação E x Dados coletados | Manhã | 0,75 | 0 | -8 | 4 | 3,0 | Simulado < Coletado |
| | Início da tarde | 0,40 | 1 | -7 | 7 | 3,5 | Simulado < Coletado |
| | Entardecer | 0,75 | 1 | -4 | 5 | 2,3 | Simulado < Coletado |

Comparação entre Dados Reais e Simulados



Análise Geral

Para essa análise utilizaram-se todas as vias com inclinação no modo “estabilizadas”, que corresponde a vias planas.

Na comparação com os dados coletados, o coeficiente de correlação não apresentou diferença significativa em relação à Análise de Validação 1, para a qual foram utilizadas as inclinações reais das vias.

Grande parte dos valores das simulações foi mais baixa do que os dados coletados, com cerca de 66 a 77% dos valores ainda dentro da faixa aceitável.

FICHA DE ANÁLISE DE VALIDAÇÃO

ANÁLISE 6 (Verificador: Fonte nível de pressão sonora equivalente com 48 pontos de referência)

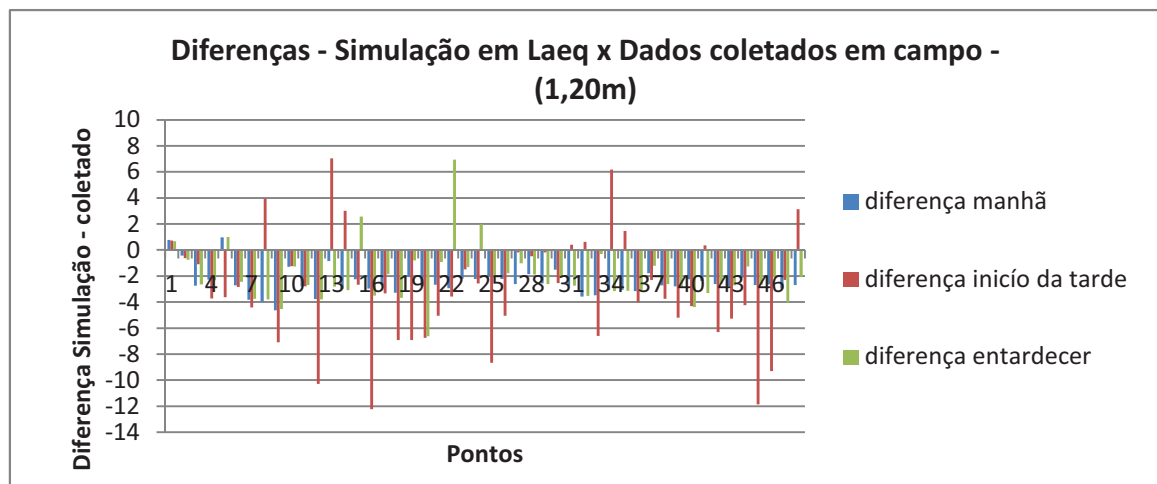
Configuração das variáveis de entrada

| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
|-------------|--------------|------------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação F | Default | Leq(A) 48 fontes | - | - | - | - | Real | 1,2 |

Síntese dos Resultados de Correlação (detalhe no Apêndice W)

| Correlação | Período | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs |
|-------------------------------|-----------------|------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------|
| Simulação F x Dados coletados | Manhã | 0,97 | -2 | -5 | 1 | 1,0 | Simulado < Coletado |
| | Início da tarde | 0,26 | -3 | -12 | 7 | 4,1 | Simulado < Coletado |
| | Entardecer | 0,80 | -2 | -7 | 7 | 2,1 | Simulado < Coletado |

Comparação entre Dados Reais e Simulados



Análise Geral

Nessa análise, os resultados da simulação pela entrada por emissão da fonte com os valores dos 48 pontos de referência foram comparados com valores reais a 1,2m de altura.

O período da manhã e o período do entardecer obtiveram boa correlação entre os dados, com coeficiente de correlação de 0,97 e 0,8, respectivamente. Os dados do início da tarde, no entanto, não obtiveram boa correlação (0,26). Isso corrobora o resultado já apontado na Análise de Validação 1, que indicou que a configuração dos dados de entrada nesse horário não promove a precisão necessária para o mapeamento acústico da área.

A média das diferenças para todos os períodos foi de -2, -3 e -2 dB(A), portanto, a simulação com Leq(A) resultou em valores menores do que os reais. Para o período da

manhã e do entardecer, 87% e 93% dos dados estão entre a faixa aceitável de diferença entre os dados.

FICHA DE ANÁLISE DE VALIDAÇÃO

ANÁLISE 7 (Verificador: Fonte nível de pressão sonora 17 pontos)

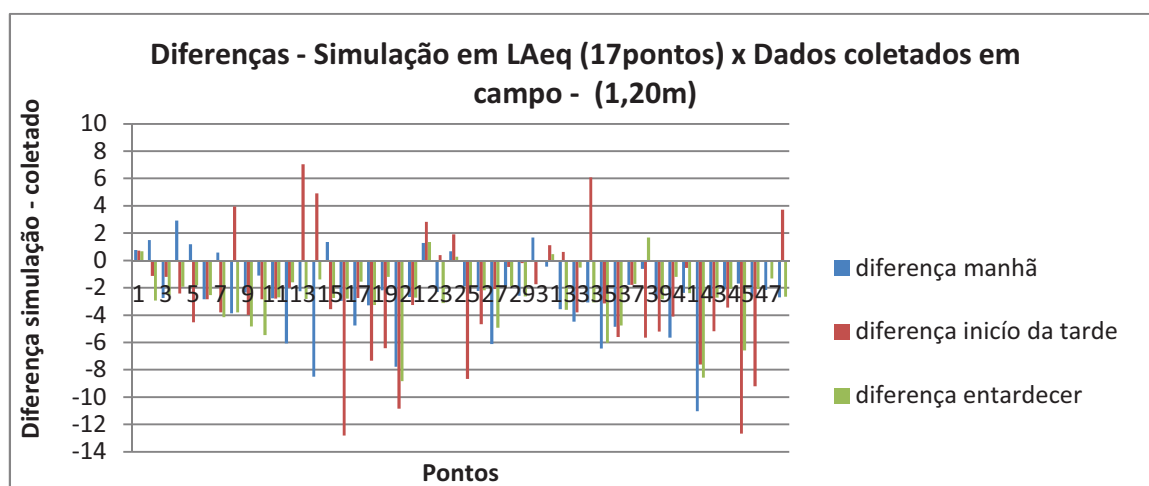
Configuração das variáveis de entrada

| Simulação | Meteorologia | Fonte | Motocicleta | Velocidade | Pavimento | Inclinação | Cenário | Altura receptor |
|-------------|--------------|------------------|-------------|------------|-----------|------------|---------|-----------------|
| Simulação G | Default | Leq(A) 17 fontes | - | - | - | - | real | 1,2 |

Síntese dos Resultados de Correlação (detalhe no Apêndice X)

| Correlação | Período | R | Média [dB(A)] ≠ | Min. [dB(A)] ≠ | Max. [dB(A)] ≠ | Desvio Padrão [dB(A)] ≠ | Obs |
|----------------------------------|-----------------|------|--------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|---------------------|
| Simulação G x Dados coletados | Manhã | 0,81 | -3 | -11 | 3 | 2,7 | Simulado < Coletado |
| | Início da tarde | 0,22 | -3 | -13 | 7 | 4,3 | Simulado < Coletado |
| | Entardecer | 0,81 | -3 | -9 | 2 | 2,1 | Simulado < Coletado |

Comparação entre Dados Reais e Simulados



Análise Geral

Com a diminuição da amostragem do número de entrada de 48 para 17 pontos, houve uma diminuição do valor do coeficiente de correlação no período da manhã, em relação ao encontrado na Análise de Validação 6. Nos gráficos das diferenças, 79% do período da manhã e 83% do entardecer ficaram com valores entre as faixas de ± 4 dB(A).

Os resultados demonstraram ser possível a utilização de um número menor de pontos de coleta para o mapeamento, tornando o procedimento um pouco mais prático. Porém é necessário cautela, pois esse procedimento tende a diminuir a correlação dos dados. Para escalas maiores de mapeamentos pode ser realizada uma menor amostragem,

porém para pequenas áreas em que os níveis de detalhes são maiores e os problemas são pontuais, justifica-se um número maior de pontos.

Em função desses resultados, pode-se extrair a indicação das seguintes configurações como base para o mapeamento da área de estudo:

- a configuração com a inserção do parâmetro $Leq(A)$, com 48 pontos, que obteve melhor resultado de coeficiente de correlação, com a ressalva que o modelo tende a simular 2 dB(A) a menos do que a realidade;
- a configuração com o fluxo de veículos de 5 minutos, com motocicletas no campo de veículos leves, com velocidade dos veículos de 50 km/h e o tipo de pavimento Revêtement 1 (R1), com o uso das inclinações reais das vias.

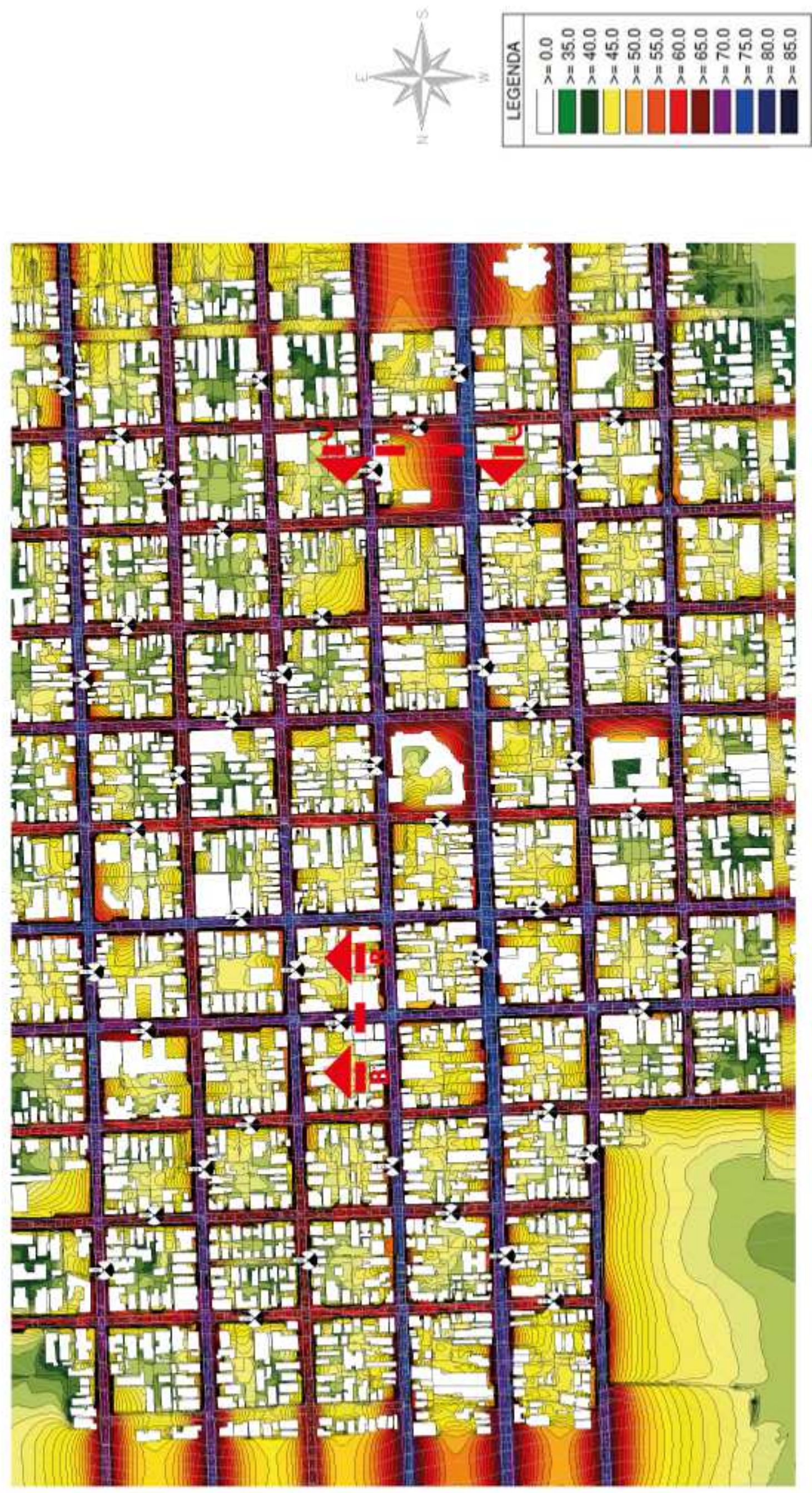
6.3. Mapeamento de ruído da área em estudo

Em função dos resultados anteriores, são representados os mapeamentos de ruído da área de estudo dos horários de pico de tráfego veicular, utilizando o software Cadna-A com o modelo de cálculo Francês, NMPB Routes 2008.

Para a realização dos mapeamentos, a área foi dividida em 3 partes, que foram unidas através de programa de edição de imagem. A Figura 41 representa o mapeamento realizado através da simulação que aplica o $Leq(A)$ como entrada para o período da manhã. A Figura 42 corresponde ao mapeamento realizado pela entrada configurada através do fluxo de veículos, para o mesmo período da manhã.

Visualmente é possível verificar que existem algumas diferenças entre os dois mapeamentos, principalmente na questão da propagação sonora. Na primeira simulação, verifica-se uma maior expansão da dissipação sonora em lugares sem barreiras ou edifícios. Na simulação com o fluxo, essa área apresenta-se um pouco mais contida. No primeiro caso, quando há barreiras ou edifícios envolvidos, ocorre maior minimização e um efeito de proteção do ruído para os interiores de quadras, que é mais eficiente do que na simulação com a entrada por fluxo de veículos.

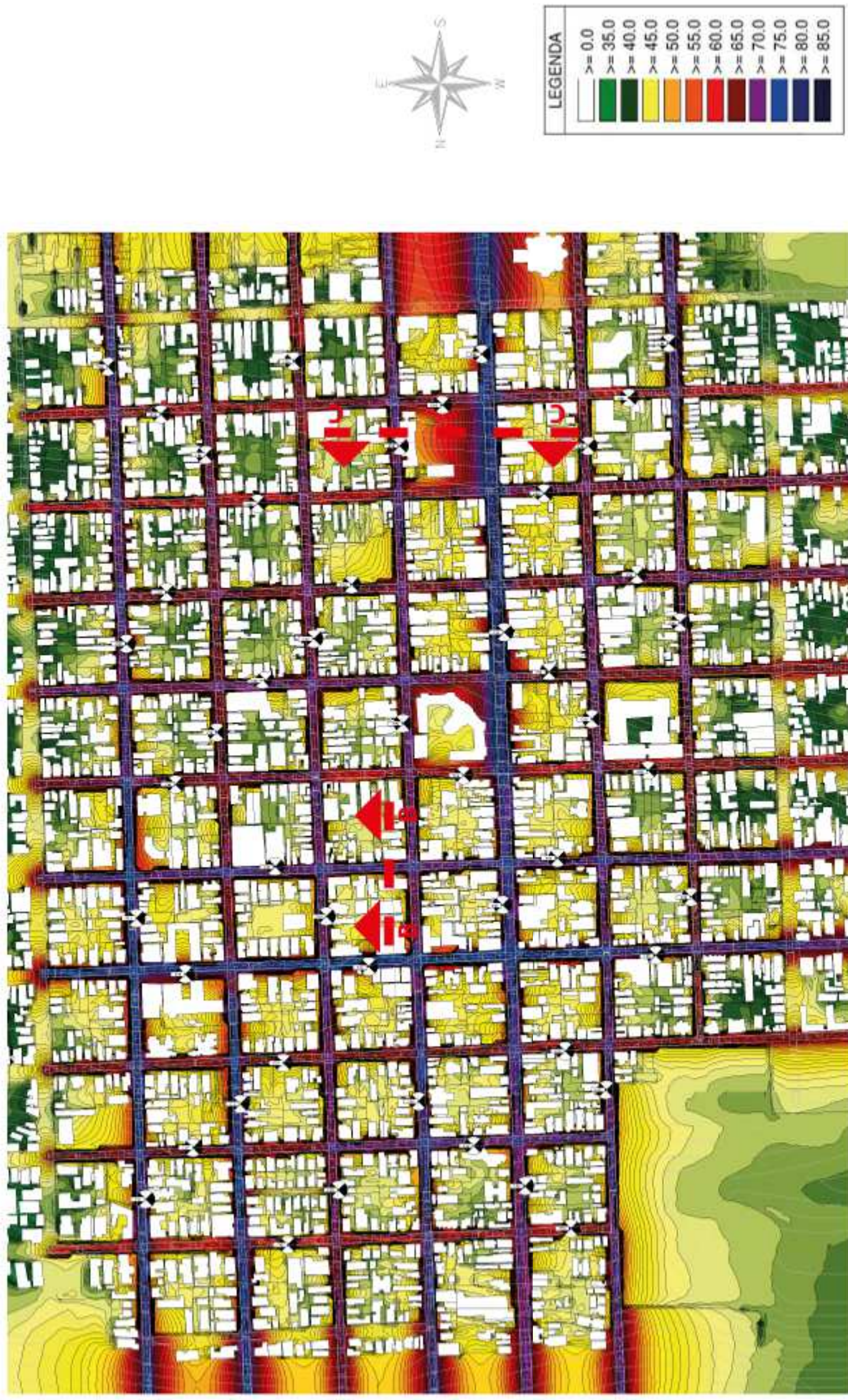
Figura 41 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período da manhã; dados de entrada da simulação correspondendo à emissão da fonte dada por Leq(A).



Simulação sonora [Fonte Leq(A)] - Período da manhã
Sem Escala

(Fonte: Autora)

Figura 42 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período da manhã: dados de entrada da simulação correspondendo à fonte dada pelo fluxo de veículos de 5 minutos.



Simulação sonora (Fonte:fluxo de veículos 5 minutos) - Período da manhã
Sem Escala

(Fonte: Autora)

Figura 43 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período do entardecer: dados de entrada da simulação correspondendo à emissão da fonte por Leq(A).



Simulação sonora [Fonte Leq(A)] - Período do entardecer
Sem Escala

(Fonte: Autora)

Figura 44 - Mapeamento sonoro da área de estudo para o período do entardecer: dados de entrada da simulação correspondendo à fonte dada pelo fluxo de veículos de 5 minutos.



Simulação sonora (Fonte: fluxo de veículos 5 minutos) - Período do entardecer
Sem Escala

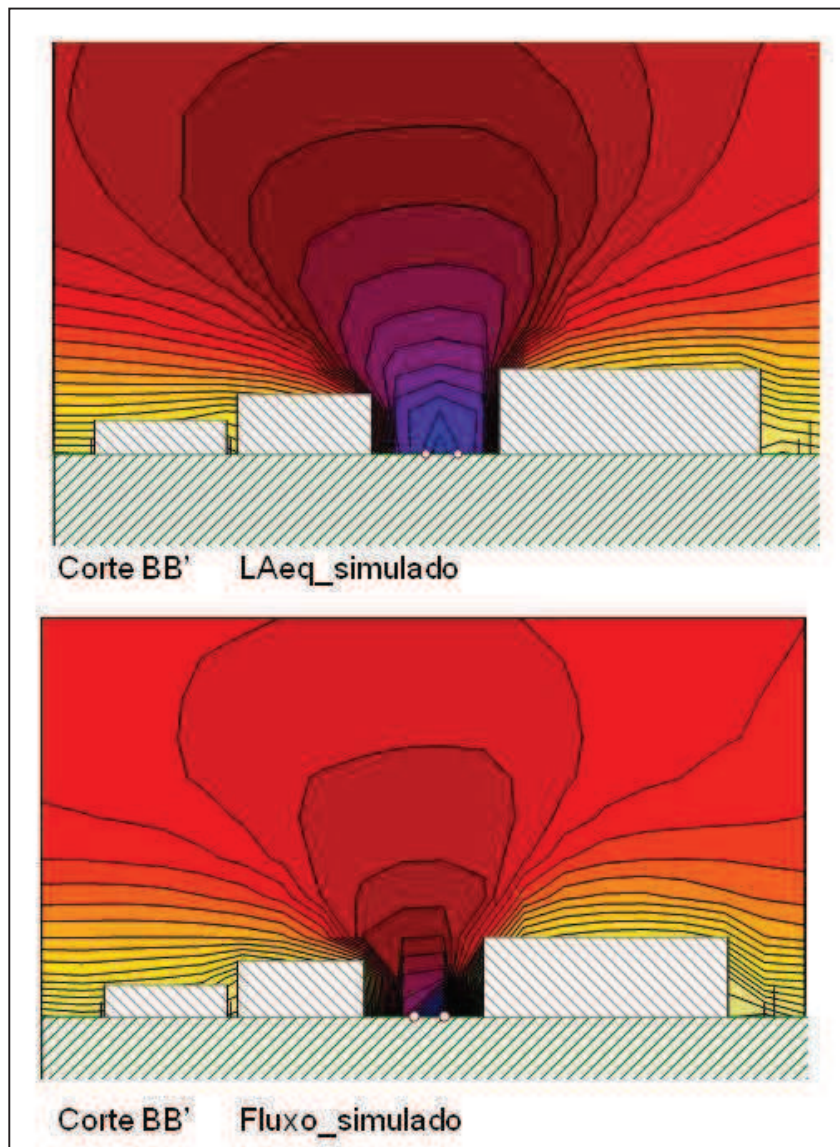
(Fonte: Autora)

Na Figura 43 é representado o mapeamento para o período do entardecer com simulação realizada através da fonte Leq(A), enquanto a Figura 44 representa a simulação com fonte de fluxo de veículos para o mesmo período.

As mesmas tendências de propagação se repetem, conforme o período da manhã.

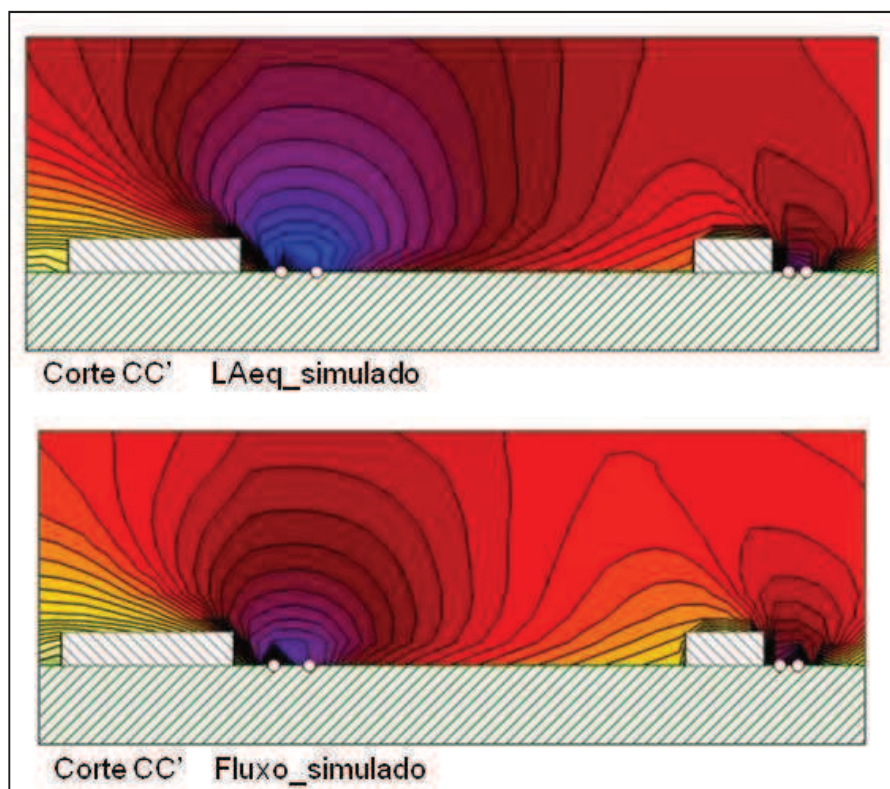
Para o entendimento da diferença de propagação entre as duas simulações, foram realizados pequenos cortes em algumas vias da área no período da manhã, demonstrando duas situações diferenciadas. Desta forma, a visualização da propagação sonora em ambas as simulações é observada mais claramente (Figuras 45 e 46).

Figura 45- Visualização da propagação sonora em Corte BB'



(Fonte: Autora)

Figura 46 - Visualização da propagação sonora em Corte CC'



(Fonte:Autora)

Com o mapeamento, foi possível visualizar onde estão os pontos mais críticos da área, podendo ser alvo de ações mitigadoras. Com a simulação é possível identificar também futuros problemas em outras áreas, podendo ser passível de ações de prevenção.

Os mapeamentos demonstraram que os interiores de quadras estão bem protegidos pelas edificações e barreiras como muros. Em lugares abertos, como praças ou edifícios sem muros ou barreiras, os níveis de ruído tendem a ser piores, adentrando por toda a quadra. Essa situação deve ser levada em conta, pois alguns desses edifícios abertos são escolas de ensino fundamental, que necessitam de ambientes menos ruidosos.

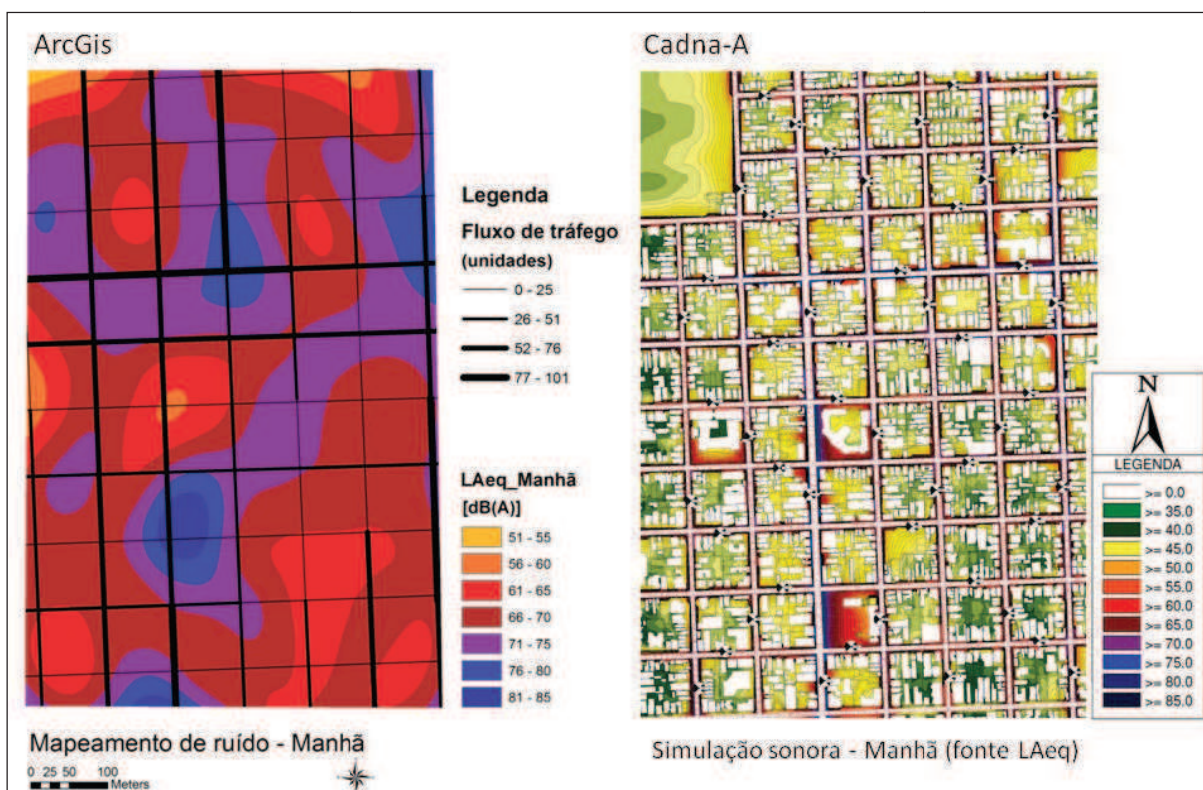
Nesses casos, pode-se trabalhar com proteções externas desses edifícios, ou adicionar elementos isoladores nas paredes ou ainda modificar a disposição de salas de aulas, voltando as aberturas para outras direções menos ruidosas, como pátios internos ou ruas com menor movimento.

Os mapeamentos também demonstram que as calçadas e os pedestres são os mais afetados, não havendo proteção destes, pois estão muito próximos à fonte de ruído e também sujeitos a reflexões dos próprios edifícios, principalmente em vias de fluxo intenso de veículos e também com fluxo de veículos pesados. Salienta-se ainda que os pontos de ônibus e seus usuários muitas vezes estão desprotegidos e sujeitos a níveis de ruído excessivos.

6.4. Análise comparativa entre os métodos de mapeamento aplicados

Após a realização dos mapeamentos, tanto no SIG (ArcGIS) como no modelo de simulação (Cadna-A) específico para ruído, fez-se uma análise comparativa das importâncias e diferenças de informações contidas em cada um deles.

Figura 47 - Comparação entre mapeamentos



(Fonte: Autora)

O mapeamento realizado pelo SIG não demonstra as especificidades de cada local, deixando o interior das quadras, por exemplo, com valores acima dos níveis reais. Ele se baseia apenas nos pontos coletados, ou seja, ele não reconhece os valores abaixo do mínimo inserido e nem oferece nenhuma ponderação decorrente das características morfológicas dos elementos urbanos (edificações, muros, etc).

Este caso poderia ser trabalhado com levantamento e inserção de pontos no interior das quadras para tentar se aproximar mais do cenário real. Porém, esse tipo de mapeamento simplificado pode ser interessante em grandes áreas, onde é necessário escolher recortes para um maior aprofundamento. Neste caso, consegue-se enxergar a tendência onde aconteceram os níveis mais elevados de ruído. Este é tipo de mapeamento mais rápido em comparação ao outro, não sendo possível um detalhamento em escalas menores.

Quando considerada a simulação realizada através do Cadna-A, embora seja mais trabalhosa e demorada, devido a possibilidade de riqueza de detalhes, consegue-se analisar a tridimensionalidade da situação. Nesse caso a simulação possibilita não apenas a propagação sonora no plano horizontal, mas também em cortes e perspectivas.

A riqueza de detalhes do programa Cadna-A é útil para entender pequenas áreas em análises pontuais. Para mapeamentos em escalas maiores e melhor eficiência do programa, é necessário minimizar os detalhes, tornando-se um conjunto de edifícios em blocos únicos de construção.

7. Discussões e considerações

Embora haja preocupações com a poluição sonora na cidade de São Carlos, com os ambientes acústicos e o incômodo da população, há apenas leis e normas referentes a empreendimentos, comércios, serviços e atividades particulares. Para que sejam tomadas medidas corretivas ou preventivas, falta ainda uma preocupação na escala da cidade que extrapole os limites das edificações, como também as fontes geradoras de ruído, pois como se sabe, os maiores geradores de poluição sonora são provenientes do tráfego e atividades em ruas e avenidas.

Apesar desses ruídos serem atenuados para dentro das residências por barreiras como muros, taludes e paredes, os pedestres, os ciclistas, usuários de transporte público ou os próprios motoristas estão expostos a níveis de ruído excessivos ao estarem no ambiente externo. Além disso, o desempenho nos ambientes internos também pode estar prejudicado, havendo necessidade de serem utilizadas soluções de fachadas que permitam melhor conforto ao usuário.

Além dos levantamentos dos níveis de ruído, se faz necessária a criação de todo o mapeamento destes e a base de dados completa de todo o território das cidades, compreendendo o monitoramento contínuo sistematizado. Isso colaboraria para a criação de uma base sólida para a aplicação de planos de ações, que mitiguem o problema em áreas mais críticas e previna em áreas possíveis de conflitos. Complementarmente, é importante também que se faça a divulgação para a comunidade dos níveis sonoros encontrados, como indicado pela Diretiva Europeia, de forma a educar e informar os cidadãos.

Dos resultados obtidos, o mapeamento preliminar realizado no SIG demonstrou ser uma solução rápida e eficiente, para mostrar em que áreas os estudos devem ser mais detalhados, de forma a minimizar o tempo de execução dos estudos detalhados em áreas que não apresentam problemas.

No geral, as simulações com o Cadna-A, embora em alguns casos tenham obtido valores baixos de correlação, apresentaram desvios considerados dentro dos limites aceitáveis. Os resultados apontam que a simulação é uma ferramenta

poderosa e promissora, mas para a qual o manuseio exige certos cuidados e necessidades de melhor ajuste para as condições locais.

Há alguns campos de entrada do programa que precisam ser aprimorados para uma melhor aproximação com os dados reais. O caso mais evidente dessa situação é o das motocicletas, uma vez que não há como compará-las a veículos leves (carros) ou veículos pesados (caminhões) pelo porte e pelo seu espectro sonoro diferenciado. Outro campo com necessidade de melhoria seria o que permite a entrada dos tipos de pavimentos. Para aplicação no Brasil, há necessidade que esses se assemelhem mais aos tipos brasileiros de pavimentos. Não fica claro no cálculo dentro do software, a que tipos de pavimento a biblioteca interna do programa se refere, ao separá-los por tipo 1, 2 ou 3, sem uma descrição clara .

As condições meteorológicas, que dentre as simulações realizadas não geraram alteração significativa dos resultados, há que ser melhor estudada, levando-se em conta que pode ser uma característica específica do software utilizado e não do modelo em si.

Para a realização dos mapeamentos urbanos é necessária uma análise de escala a ser trabalhada, para melhor eficiência e otimização do mapeamento. Escalas menores permitem uma riqueza de detalhes como a forma mais aproximada das edificações, recuos, afastamentos, alturas e materiais. Para escalas maiores é necessária uma otimização do desenho, para que o mapeamento não fique com muita informação e causando assim difícil leitura. Nesse último caso para simplificação podem ser considerados blocos de construções, alturas médias, etc, ao invés de informações individualizadas de cada lote.

Considerando-se a aplicação do modelo de forma provisória para países que não apresentam seu próprio modelo, é válida sua utilização como ferramenta de mapeamento e simulação sonora no meio urbano. Mas há uma necessidade do desenvolvimento apropriado, conforme as características locais, e, principalmente, a implantação de legislação nesse setor, pois hoje, no Brasil, não há uma preocupação da gestão pública nacional de gerir as questões de ruídos urbanos.

Os mapeamentos realizados demonstraram que os maiores focos do problema estão em áreas desprotegidas de muros, barreiras ou edifícios, prejudicando os ambientes das calçadas, nas quais se encontram os pedestres, dos pontos de ônibus, ou dos ciclistas nas vias. As faces das edificações também podem

estar sofrendo níveis de ruído excessivos, sendo necessário o tratamento por materiais das fachadas e direcionamento das aberturas para o interior dos lotes, evitando-se o seu direcionamento diretamente para as vias.

Dos mapeamentos realizados, a maior diferença encontrada nos resultados se localizou na dissipação da propagação sonora, influenciando na questão do ruído encontrado no interior das quadras e em áreas abertas.

Para o mapeamento realizado através do Leq(A), foi feita a simulação com 48 pontos de inserção de fontes sonoras, mas esse número de pontos pode ser reduzido. A otimização desses pontos, no entanto, só é possível tomando-se certos cuidados e observando-se a escala a ser trabalhada, pois, a redução do número de pontos utilizados como fonte de entrada, pode acarretar a diminuição da correlação entre dados simulados e reais.

Outro aspecto importante a ser observado para uma redução de número de pontos, é a necessidade de ser inserida nos dados de entrada uma fonte por via, pois se não há dados a serem colocados na via, o modelo não considera que existe nela uma fonte de ruído. A não existência da fonte influencia o resultado encontrado para o entorno e os interiores das quadras, afastando a simulação do modelo real. Para a simulação com o fluxo de veículos, também se faz necessário ter o fluxo de veículos de cada via para ser considerada como fonte de sonora.

Portanto, os resultados confirmam a necessidade de controle e planejamento acústico nas cidades. A análise de ruído no meio urbano deveria ser considerada juntamente com o planejamento urbano, pois, soluções para essa problemática em cidades já consolidadas, tornam-se complexas e dispendiosas, sendo a ação preventiva desse quadro a melhor solução.

Reforça-se a necessidade de uma legislação nacional acerca do tema no âmbito urbano, conforme o exemplo europeu, visando uma melhor qualidade de vida nos centros urbanos.

Referências

AFNOR. Association Française de Normalisation .NF S 31-085 : Acoustique
Caractérisation et mesurage du bruit du trafic routie. Saint-Denis La Plaine. 1991.

ALMEIDA, G. T. L. **Análise de soluções construtivas para a verificação de requisitos térmicos e acústicos em edifícios de habitação**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Reabilitação de Edifícios, Universidade Nova de Lisboa, Portugal, 2009.

ARANA, M.; San Martin, R.; San Martin, M. L. Strategic noise map of a major road carried out with two environmental prediction software packages. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 163, p. 503-513, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10151**: avaliação do nível do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10152**: níveis de ruído para o conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

BALZAN, K. L. **Avaliação do ruído de tráfego veicular em área central de Chapecó – SC**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil, 2011.

BERANEK, L. L. **Acústica**. Ed. Hispano Americana S. A. 2ª ed. Buenos Aires, 1969.

BICKER, A. Orientações da norma NP ISO 1996:2011 - aplicações práticas em contexto de ensaio. In: ENCONTRO TÉCNICO DE ACÚSTICA, **Anais...** Portugal, Relacre SPA, 2011.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. Blucher, 2ª ed. São Paulo, 2011.

BRASIL. Código Civil. Legislação n. 43. **Câmara dos Deputados**, Coordenação de Publicações, Série Fontes de Referência. Brasília, DF, p. 342, 2002.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Senado Federal**, Brasília, DF, 1988.

BRASIL. **Decreto-Lei n. 3268**, de 29 de agosto de 2001. Altera o regulamento n. 15, aprovado pelo decreto n. 1601, de 21 de junho de 1978, e alterado pelo decreto n. 5412, de 24 de outubro de 1985. Rio de Janeiro. Disponível

em:<<http://www.afaerj.org.br/regulamentos/regulamento15/L3268.htm>>. Acesso em: nov. 2011.

BRASIL. **Lei Complementar CMF n. 003/999** de 1999. Dispõe sobre os ruídos urbanos e a proteção do bem estar da saúde pública. Legislação Municipal de Florianópolis. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/11_01_2011_15.11.04.c015036b722ccbe963701f87d83e1cb6.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRASIL. **Lei n. 10100**, de 17 de janeiro de 1990. Dá nova redação ao artigo 2º da Lei n. 7.302, de 21 de julho de 1978, que dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=2229>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. **Lei n. 29**, de 05 de agosto de 2002, regulamentada pelo Decreto n. 4793, de 21 de abril de 2003. Legislação Municipal de João Pessoa.

Brasil. **Lei n. 10.257**, de 10 de julho de 2001. Estatuto da Cidade e Legislação Correlata. 2. ed.atual. . Brasília : Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2002. 80 p.

BRASIL. **Lei n. 3342** de 28 de dezembro de 2001 e Lei n. 3.268. Dispõe sobre as condições físicas de proteção da coletividade contra a poluição sonora. Legislação Municipal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/legislacao-de-rio-de-janeiro/269927/lei-3342-2001-rio-de-janeiro-rj.html>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRASIL. **Lei n. 3688**, de 3 de outubro de 1941. Lei das Contravenções Penais. Câmara dos Deputados. Brasília, DF, 1941.

BRASIL. **Lei n. 3916** de 08 novembro de 1995. Dispõem sobre o código posturas do município de Santa Maria e dá outras providências. Legislação Municipal de Santa Maria. Disponível em: <<http://www.camara-sm.rs.gov.br/2010/arquivos/legislacao/LM/1995/3916.pdf>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRASIL. **Lei n. 5354** de 28 de janeiro de 1998. Dispõe sobre sons urbanos, fixa níveis e horários em que será permitida sua emissão, cria a licença para utilização sonora e dá outras providências. Legislação Municipal de Salvador. Disponível em: <<http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/legislacoes/sonora.asp>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRASIL. **Lei n. 5909** de 26 de janeiro de 2001. Modifica dispositivo da Lei n. 5354 de 28 de janeiro de 1998, que dispõe sobre sons urbanos, fixa níveis e horários em que será permitida sua emissão e cria a licença para utilização sonora. Salvador – BA. Legislação Municipal de Salvador. Disponível em: <<http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/legislacoes/sonora.asp>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRASIL. Lei n. 7302, de 21 de julho de 1978. Proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais. Legislação Estadual de Minas Gerais, Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=61>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRASIL. Lei n. 9505 de 23 de janeiro de 2008. Controle de ruídos, sons e vibrações. Legislação Municipal de Belo Horizonte. Disponível em: <<http://www.leismunicipais.com.br/legislacao-de-belo-horizonte/714574/lei-9505-2008-belo-horizonte-mg.html>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 001, de 08 de março de 1990. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 001, de 11 de fevereiro de 1993. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 002, de 11 de fevereiro de 1993. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 002, de 8 de março de 1990. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 17, de 13 de dezembro de 1995. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 252, de 29 de janeiro de 1999. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 256, de 30 de junho de 1999. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução CONAMA n. 272, de 14 de setembro de 2000. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRASIL. Resolução n. 1150 de 24 de novembro de 1995, que aprova a norma técnica NT-001/95 e seus anexos, que dispõem sobre a determinação de níveis de ruídos em ambientes internos e externos de áreas habitadas. Legislação Estadual da Bahia. Disponível em: <http://www.mp.ba.gov.br/atuacao/ceama/material/legislacoes/sonora/resolucao_1150_1995.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2012.

BRIOSCHI, R.; VIVEIROS, E. A influência dos afastamentos frontais das edificações na formação dos ambientes sonoros no nível do pedestre. In: XI ENCONTRO NACIONAL E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2011, Búzios. **Anais...** Rio de Janeiro, UFRJ-FAU, 2011.

BRITO, L. A. P. F. de; SINDER, V. Determinação do nível de pressão sonora das principais vias públicas da região central de Taubaté. In: X ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009.

CABREIRA, C. V.; NIEMEYER, M. L. A. de; KRAUSE, C. B.; RIBEIRO, R. T. M. Contexto acústico de ambientes históricos: A influência do entorno na Casa de Chá da Fundação Oswaldo Cruz. In: X ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009.

CANTIERI, E.; CATAI, R. E.; AGNOLETTO, R. A.; ZANQUETA, H. F. B.; CORDEIRO, A. D.; ROMANO C. A. Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba – PR. **Revista Produção On-line**, Santa Catarina, v. 10, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://producaoonline.org.br/rpo/article/view/239>>. Acesso em: fev. 2013.

CAREY, J. H. Environmental noise monitoring; what to measure? In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 1.; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 17., 1996, Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: SOBRAC, 1996. p. 207-210.

CARNEIRO, W. A. M. **Perturbações sonoras nas edificações urbanas**. 2ª. ed: Editora Revista dos Tribunais. 2002.

CARVALHO, L. C. Aplicação da legislação sobre ruído à escala do aglomerado urbano. S.d. Disponível em: <<http://sapiencia.ualg.pt/bitstream/10400.1/194/1/CARApI.pdf>>. Acesso em: dez. 2011.

CORNACCHIA, G.; ROSSI, L.; VIVEIROS, E. Medições de isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais. In: X ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2009, Natal. **Anais...** Natal, 2009.

COSTA, S. B.; LOURENÇO, R. W. Geoprocessing applied to the assessment of environmental noise: a case study in the city of Sorocaba, São Paulo, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 172, p. 329 -337, 2011.

DATAKUSTIK. Disponível em: <<http://www.datakustik.com/en/applications/>>. Acesso em: jul. 2012.

DEL RIO, F. J. C.; ESCOBAR, V. G.; CARMONA, J. T.; VÍLCHEZ-GÓMEZ, R.; SIERRA, J. A. M.; GOZALO, G. R.; MORILLAS, A. Street categorization method to study urban noise: the valladolid (Spain) study. **Environmental Engineering Science**. v. 28, n. 11, p. 811-817, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO (DENATRAN). **Manual de procedimentos para o tratamento de polos geradores de tráfego**. DENATRAN/FGV. Brasília, 2001.

DINIZ, F. B. **Impacto ambiental das emissões sonoras de subestações de energia elétrica na cidade de Curitiba**. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2003.

DUTILLEUX, G.; DEFRANCE, J.; GAUVREAU, B.; BESNARD, F. The revision of the French method for road traffic noise prediction. **Acoustics'08-Paris**, França, 2008.

EUROPEAN UNION. Directive 2002/49/EC - relating to the assessment and management of environmental noise. **Official Journal of the European Communities**, 2002.

FACCIN, M.; FERREIRA, P. D.; SANTOS, V. T. L.; KRÜGER, E. L. Estudo do ruído urbano nos eixos estruturais de Curitiba, analisando diferentes bandas de oitava de frequência. In: VIII ENCONTRO NACIONAL NO IV AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Maceió, 2005.

FORASTER, M.; DELTELL, A.; BASAGAÑA, X.; MEDINA-RAMÓN, M.; AGUILERA, I.; BOUSO, L.; GRAU, M.; PHULERIA, H. C.; RIVERA, M.; SLAMA, R.; SUNYER, J.; TARGA, J.; KÜNZLI, N. Local determinants of road traffic noise levels versus determinants of air pollution levels in a Mediterranean city. **Environmental Research**, v. 111, p. 177–183, 2011.

FRANÇA, P.; NIEMEYER, M. L.; SANTOS, M. Análise de conforto acústico do conjunto habitacional Bento Ribeiro Dantas, e avaliação da interferência do ruído da via expressa linha amarela sobre as habitações. In: XI ENCONTRO NACIONAL E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Búzios, 2011.

Galloway W.J.; Clark, W. E.; Kerrick, J. S.; Urban highway noise: measurement, simulation, and mixed reactions. NCHRP report, 78, 1969.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. 1ª. ed. Florianópolis, 1992.
GOOGLE Maps. São Carlos: coordenadas: -22°00'55.16"S e -47°53'28.48"O. Disponível em: < <http://maps.google.com.br/>>. Acesso em: jan. 2011.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R. Forma urbana: Um indicativo de sua influência no ambiente sonoro no bairro Jardins em Aracaju (SE). In: VIII ENCONTRO NACIONAL NO IV AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Maceió, 2005.

GTZ. El ruido y su mitigación (Modulo 5c). Transporte sostenible. Texto de referencia para formuladores de políticas públicas en ciudades de desarrollo. Eschborn, 2006.

HINCU, G. Computer assisted evaluation of traffic noise level. *Electronic Journal - Technical Acoustics*, v. 19, 2003. Disponível em: <<http://webcenter.ru/~eeaa/ejta/>>. Acesso em: fev. de 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores sociais municipais**: uma análise dos resultados do universo do Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?codmun=354890>>. Acesso em: fev. de 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações automáticas**: gráficos. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>. Acesso em: fev. de 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 1996/2: **Acoustics**: description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels, 2007/2, Suíça, 2007.

KING, E. A.; MURPHY, E.; RICE, H.J. Implementation of the EU environmental noise directive: lessons from the first phase of strategic noise mapping and action planning in Ireland. *Journal of Environmental Management*, v. 92, p. 756-764, 2011.

KNAUSS, D. Can Traffic noise be calculated? In: EURONOISE. **Anais...** Edinburgh, Scotland, 2009.

LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M.; ZANNIN, P. H. T. Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora. *Ambiente & Sociedade*, v. 8, n. 2, 2005.

LI, K.M.; WONG, H.Y. A review of commonly used analytical and empirical formulae for predicting sound diffracted by a thin screen. *Applied Acoustics*, v. 66, p. 45-76, 2005.

LIMA, S. D. P.; MORAES, E. L. M. Ruído urbano no centro histórico e patrimonial de Belém - Pará. In: XI ENCONTRO NACIONAL E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Búzios, 2011.

MADRUGA, J. F. S. **Impacto sonoro das atividades madeireiras na qualidade de vida da população do bairro da torre, João Pessoa, PB**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento do Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, 2008.

MALAFAIA, C.; SANTOS, M. J. O.; SLAMA, J. Integração de barreiras acústicas no contexto urbano. In: VIII ENCONTRO NACIONAL NO IV AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Maceió, 2005.

MARDONES, M. D. M. **Mapeamento dos níveis de ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, através de simulação computacional**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MENDONÇA, A. B. D.; SURIANO, M. T.; SOUZA, L. C. L.; VIVIANI, E. Medições acústicas: variação da geometria da via urbana e tempo de amostragem. In: III SIMPÓSIO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA. **Anais...** Maringá, 2012.

MENDONÇA, E. C. **Ruído em Santa Maria – RS**; a contribuição do tráfego veicular em área mista (residencial/comercial). Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2009.

MENOUNOU, P.; PAPAETHYMIU, E. S. Shadowing of directional noise sources by finite noise barriers. **Applied Acoustics**, v. 71, p. 351–367, 2010.

METZEN, H. A. **Introduction to CadnaA**. DataKustik. Greifenberg, Alemanha, 2009.

MOORE, J. E. **Design for good acoustics and noise control**. MacMillan Education Ltd, London, 1988.

MORAES, E.; LARA, L.; TOGUCHI, L.; PINTO, A. Mapa de ruídos da zona comercial de Belém, uma parcela do Mapa de ruídos da cidade de Belém – Brasil. **Tecni Acustica**. Bilbao, 2003.

MORILLAS, J. M. B.; ESCOBAR, V. G.; CARMONA, J. T.; SIERRA, J. A. M.; VÍLCHEZ-GÓMEZ, R.; DEL RÍO, F. J. C. Analysis of the prediction capacity of a categorization method for urban noise assessment. **Applied Acoustics**, v. 72, p. 760–771, 2011.

MURGEL, E. **Fundamentos de Acústica Ambiental**. 1^a. ed. São Paulo: Senac, 2007.

MURPHY, E.; KING, E. A. Scenario analysis and noise action planning: modelling the impact of mitigation measures on population exposure. **Applied Acoustics**, v. 72, p. 487 – 494, 2011.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental**: diretrizes e metodologia. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2004.

NARDI, A. S. L. V. **Mapeamento sonoro em ambiente urbano**. Estudo de caso: área central de Florianópolis. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

NETO, M. F. F.; BERTOLI, S. R. Desempenho acústico de paredes de bloco/tijolo cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. In: X ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Natal, 2009.

NIEMEYER, M. L.; PORTO, M. M.; LIMA, P. R. Qualidade térmica e acústica em ruas do bairro de São Cristóvão, Rio de Janeiro. In: VIII ENCONTRO NACIONAL NO IV AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Maceió, 2005.

NIEMEYER, M. L.; SANTOS, M. J. O. Qualidade acústica no espaço urbano. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** São Pedro, SP, 2001.

NIEMEYER, M. L.; SLAMA, J. G. O ruído na cidade: elementos do ruído urbano. In: _____. **Arquitetura: pesquisa e projeto**. Rio: Pró Editores, UFRJ, 1998, p. 75-89.

NUNES, M. F. O. Poluição sonora em centros urbanos: O ruído de tráfego veicular. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Anais...** Rio de Janeiro, 1999.

OITICICA, M. L. G. R.; BERTOLI, S. R. Contribuição acústica de materiais absorvedores aplicados na parede da edificação de peitoris ventilados fabricados com materiais refletores. In: XI ENCONTRO NACIONAL E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Rio de Janeiro, 2011.

OITICICA, M. L. G. R.; BERTOLI, S. R. Contribuição acústica do peitoril ventilado para ambientes com climatização natural. In: X ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Natal, 2009.

PALHARES, D. A. G., et al. Mapeamento sonoro do ruído do tráfego viário nas grandes cidades. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE METROLOGIA EM ACÚSTICA E VIBRAÇÕES, 1.; ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 17., 1996, Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: SOBRAC, 1996. p. 215-218.

PICAUT, J.; POLLE`S, T. L.E.; LÖHERMITE, P.; GARY, V. Experimental study of sound propagation in a street. **Applied Acoustics**, v. 66, p.149–173, 2005.

PINTO, F. A. N. C; MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods – example of Copacabana, Rio de Janeiro – Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 155, p. 309-318, 2009.

_____. Plano Diretor do Município de São Carlos. Cd-room, 2004.

PORTUGAL (País). Agência portuguesa do ambiente. **Guia prático para medições de ruído ambiente no contexto do Regulamento Geral do Ruído tendo em conta a NP ISO 1996**. Ed. Amadora, Portugal, 2011.

PORTUGAL. Plano Diretor Municipal de Tondela. Câmara Municipal Tondela, 2009. Disponível em: <<http://www.cm-tondela.pt/index.php/apoio-ao-municipe/pdm/outros-elementos>> Acesso em: fev. de 2013

SANCHO, V. M.; SENCHERMES, A. G., **Curso de Acustica em Arquitectura**. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, Madrid, 1982.

SANTOS, L. C.; VALADO, F. O Mapa de Ruído Municipal como Ferramenta de Planejamento. Acustica 2004. Guimarães, Portugal, 2004. Disponível em: <<http://www.sea-acustica.es/Guimaraes04/ID162.pdf>> Acesso em: fev. de 2013

SANTOS, U. P.; MATOS, M. P.; MORATA, T. C.; OKAMOTO, V. A. **Ruído: riscos e prevenção**. Ed. Hucitec, São Paulo, 1994.

SÃO CARLOS EM REDE. Disponível em: <<http://www.saocarlosemrede.com.br/noticias/item/19147-em-10-anos-frota-de-ve%C3%ADculos-aumenta-877-em-s%C3%A3o-carlos>>. Acesso em: fev. 2013.

SÃO CARLOS. Prefeitura municipal. Disponível em: <<http://www.saocarlos.sp.gov.br>>. Acesso em: 14 jan. 2011.

SAPATA, A. M. A. **Monitoramento, modelagem e simulação dos impactos e efeitos do ruído de tráfego em trecho de cânion urbano da avenida Horácio Racanello da cidade de Maringá, PR**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Estadual de Maringá, 2010.

SILVA, A. M. C. **Mapa de Ruído do Bairro “Vila Universitária” em Bauru: situação de pico**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós Graduação de Engenharia Civil, Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Portugal, 2010.

SIMÕES, F. M.; VILLANOVA, L. H. B. A influência do desenho urbano na qualidade acústica das cidades: recuos urbanos. In: X ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Natal, 2009.

SOUZA, D. F. M.; CARVALHO, M. L. A. Estudo sobre a legitimidade dos valores máximos admitidos pela lei do silêncio de salvador. In: XI ENCONTRO NACIONAL E VII ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...** Rio de Janeiro, 2011.

SOUZA, L. C. L.; ALMEIDA, M. G.; BRAGANÇA, L. **Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura**. São Carlos. Ed. EdUFSCar, 2006.

STEELE, C. A Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models. **Applied Acoustics**, v. 62, p. 271-287, 2001.

SUSTAINABLE URBAN TRANSPORT PROJECT - SUTP (GTZ). **El ruido y su mitigación**. GTZ sourcebook, mod. 5c. 2006.

TANAKA, S.; SHIRAISHI, B. Wind effects on noise propagation for complicated geographical and road configurations. **Applied Acoustics**, v. 69, p. 1038–1043, 2008.

VAN RENTERGHEM, T.; BOTTELDOOREN, D. On the choice between walls and berms for road traffic noise shielding including wind effects. **Landscape and Urban Planning**, v. 105, n. 3, p. 199-201, 2012.

VASCONCELOS, N. B. Política pública urbana: uma análise sobre a participação da sociedade na questão urbana. In: **Revista em extensão**, Uberlândia, v. 6, 2007.

VENTURA, A. N; VIVEIROS, E; COELHO, J. L. B; NEVES, M. M. Uma contribuição para o aprimoramento do Estudo de Impacto de Vizinhança: a gestão do ruído ambiental por mapeamento sonoro. In: XXII ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA. **Anais...** Belo Horizonte, 2008.

WG3. Working Group 3 (eds.). Computational and Measurement. Progress Report. 2001.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Burden of disease from environmental noise**: quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen, 2011. Disponível em: <http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf>. Acesso em: set. 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for Community**. London, United Kingdom, 1999. Disponível em: <<http://www.who.int/en/>>. Acesso em: nov. 2010.

ZANNIN, P. H. T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F. B; FERREIRA, J. A. Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 4, p. 521-524, 2002.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Quadro de horário de coleta de dados acústico e tráfego - manhã

| MANHÃ | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|----------|---------------|------------------|--------|------|-------------|
| RUA | PONTO | PONTO | DIA | HORA MANHÃ | VEICULOS LEVE | PESADO | MOTO | Observações |
| Rua Orlando Damiano | 1 | A1 | 30/08/11 | 7:10 | 7 | 0 | 1 | |
| | 2 | A2 | 30/08/11 | 7:23 | 11 | 0 | 0 | |
| Rua Tiradentes | 3 | B1 | 30/08/11 | 7:45 | 12 | 0 | 2 | |
| | 4 | B2 | 30/08/11 | 7:33 | 8 | 2 | 0 | |
| Rua Vinte e Oito de Outubro | 5 | C1 | 31/08/11 | 7:44 | 11 | 1 | 2 | |
| | 6 | C2 | 31/08/11 | 7:33 | 7 | 0 | 3 | |
| Av. Carlos Botelho | 7 | D1 | 31/08/11 | 7:52 | 87 | 0 | 14 | |
| | 8 | D2 | 31/08/11 | 7:25 | 67 | 2 | 7 | |
| | 9 | D3 | 31/08/11 | 7:15 | 48 | 1 | 8 | |
| Rua Quinze de Novembro | 10 | E1 | 31/08/11 | 8:00 | 67 | 1 | 6 | |
| | 11 | E2 | 31/08/11 | 7:05 | 48 | 7 | 0 | |
| Rua São Sebastião | 12 | F1 | 09/01/11 | 7:00 | 15 | 0 | 1 | |
| | 13 | F2 | 09/01/11 | 7:35 | 7 | 0 | 2 | |
| | 14 | F3 | 09/01/11 | 7:25 | 10 | 0 | 0 | |
| Rua Padre Teixeira | 15 | G1 | 09/01/11 | 7:08 | 32 | 1 | 3 | |
| | 16 | G2 | 09/01/11 | 7:17 | 27 | 2 | 4 | |
| Rua Marechal Deodoro | 17 | H1 | 20/09/11 | 7:10 | 14 | 2 | 2 | |
| | 18 | H2 | 13/09/11 | 7:02 | 22 | 0 | 3 | |
| | 19 | H3 | 13/09/11 | 7:12 | 18 | 0 | 7 | |
| Rua Sete de Setembro | 20 | I1 | 13/09/11 | 7:59 | 25 | 1 | 10 | |
| | 21 | I2 | 13/09/11 | 7:22 | 17 | 0 | 1 | |
| Rua Major Jose Inácio | 22 | J1 | 13/09/11 | 7:50 | 12 | 0 | 3 | |
| | 23 | J2 | 13/09/11 | 7:41 | 12 | 0 | 8 | |
| | 24 | J3 | 13/09/11 | 7:31 | 21 | 0 | 2 | |
| Rua Nove de Julho | 25 | K1 | 22/01/11 | 7:24 | 21 | 0 | 2 | |
| | 26 | K2 | 20/09/11 | 7:03 | 23 | 4 | 3 | |
| | 27 | K3 | 21/09/11 | 7:57 | 31 | 1 | 13 | |
| Rua Episcopal | 28 | L1 | 22/09/11 | 7:33 | 60 | 0 | 8 | |
| | 29 | L2 | 22/09/11 | 7:14 | 67 | 1 | 5 | |
| | 30 | L3 | 21/09/11 | 7:49 | 50 | 1 | 10 | |
| Av. São Carlos | 31 | M1 | 22/09/11 | 7:41 | 51 | 12 | 7 | |
| | 32 | M2 | 22/09/11 | 7:05 | 55 | 2 | 17 | |
| | 33 | M3 | 20/09/11 | 7:21 | 57 | 6 | 9 | |
| | 34 | M4 | 21/09/11 | 7:40 | 45 | 13 | 18 | |
| Rua Alexandrina | 35 | N1 | 14/09/11 | 7:44 | 67 | 3 | 8 | |
| | 36 | N2 | 20/09/11 | 7:29 | 38 | 6 | 4 | |
| | 37 | N3 | 21/09/11 | 7:32 | 24 | 5 | 5 | |
| Rua São Joaquim | 38 | O1 | 14/09/11 | 7:35 | 21 | 0 | 1 | |
| | 39 | O2 | 18/10/11 | 7:05 | 42 | 2 | 2 | |
| | 40 | O3 | 20/09/11 | 7:37 | 21 | 0 | 3 | |
| | 41 | O4 | 21/09/11 | 7:24 | 25 | 0 | 4 | |
| Rua Dom Pedro II | 42 | P1 | 14/09/11 | 7:26 | 47 | 1 | 2 | |
| | 43 | P2 | 20/09/11 | 7:45 | 15 | 1 | 6 | |
| | 44 | P3 | 21/09/11 | 7:16 | 51 | 1 | 2 | |
| Rua Rui Barbosa | 45 | Q1 | 14/09/11 | 7:17 | 34 | 2 | 3 | |
| | 46 | Q2 | 14/09/11 | 7:07 | 54 | 3 | 3 | |
| | 47 | Q3 | 20/09/11 | 7:54 | 65 | 0 | 11 | |
| | 48 | Q4 | 21/09/11 | 7:07 | 70 | 3 | 1 | |

APÊNDICE B - Quadro de horário de coleta de dados acústico e tráfego - tarde.

| TARDE | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|----------|------------|---------------|--------|------|-------------|
| RUA | PONTO | PONTO | DIA | HORA TARDE | VEICULOS LEVE | PESADO | MOTO | Observações |
| Rua Orlando Damiano | 1 | A1 | 30/08/11 | 12:00 | 12 | 1 | 1 | |
| | 2 | A2 | 30/08/11 | 12:11 | 17 | 1 | 1 | |
| Rua Tiradentes | 3 | B1 | 30/08/11 | 12:32 | 11 | 0 | 2 | |
| | 4 | B2 | 30/08/11 | 12:21 | 8 | 0 | 2 | |
| Rua Vinte e Oito de Outubro | 5 | C1 | 09/01/11 | 12:29 | 22 | 0 | 8 | |
| | 6 | C2 | 09/01/11 | 12:11 | 25 | 0 | 1 | |
| Av. Carlos Botelho | 7 | D1 | 09/01/11 | 12:38 | 88 | 3 | 11 | |
| | 8 | D2 | 09/01/11 | 12:19 | 56 | 3 | 6 | |
| | 9 | D3 | 09/01/11 | 12:03 | 56 | 0 | 8 | |
| Rua Quinze de Novembro | 10 | E1 | 09/01/11 | 12:46 | 62 | 3 | 8 | |
| | 11 | E2 | 09/01/11 | 12:55 | 51 | 1 | 8 | |
| Rua São Sebastião | 12 | F1 | 20/09/11 | 12:09 | 27 | 0 | 3 | |
| | 13 | F2 | 13/09/11 | 12:40 | 34 | 2 | 7 | |
| | 14 | F3 | 13/09/11 | 12:03 | 19 | 1 | 2 | |
| Rua Padre Teixeira | 15 | G1 | 20/09/11 | 12:23 | 28 | 0 | 9 | |
| | 16 | G2 | 13/09/11 | 12:12 | 33 | 0 | 9 | |
| Rua Marechal Deodoro | 17 | H1 | 20/09/11 | 12:31 | 17 | 1 | 4 | |
| | 18 | H2 | 13/09/11 | 12:30 | 26 | 1 | 5 | |
| | 19 | H3 | 13/09/11 | 12:21 | 30 | 1 | 10 | |
| Rua Sete de Setembro | 20 | I1 | 14/09/11 | 12:39 | 35 | 1 | 5 | |
| | 21 | I2 | 14/09/11 | 12:01 | 35 | 1 | 6 | |
| Rua Major Jose Inácio | 22 | J1 | 14/09/11 | 12:30 | 13 | 1 | 6 | |
| | 23 | J2 | 14/09/11 | 12:20 | 41 | 2 | 2 | |
| | 24 | J3 | 14/09/11 | 12:10 | 17 | 2 | 7 | |
| Rua Nove de Julho | 25 | K1 | 20/09/11 | 12:00 | 29 | 0 | 5 | |
| | 26 | K2 | 20/09/11 | 12:38 | 34 | 2 | 6 | |
| | 27 | K3 | 10/11/11 | 12:41 | 43 | 0 | 12 | |
| Rua Episcopal | 28 | L1 | 10/04/11 | 12:02 | 97 | 0 | 7 | |
| | 29 | L2 | 20/09/11 | 12:16 | 66 | 1 | 7 | |
| | 30 | L3 | 10/11/11 | 12:33 | 75 | 2 | 12 | |
| Av. São Carlos | 31 | M1 | 10/04/11 | 12:10 | 85 | 3 | 21 | |
| | 32 | M2 | 10/05/11 | 12:12 | 91 | 5 | 15 | |
| | 33 | M3 | 21/09/11 | 12:09 | 103 | 1 | 24 | |
| | 34 | M4 | 10/11/11 | 12:24 | 91 | 6 | 17 | |
| Rua Alexandrina | 35 | N1 | 10/04/11 | 12:18 | 70 | 2 | 8 | |
| | 36 | N2 | 21/09/11 | 12:00 | 52 | 4 | 11 | |
| | 37 | N3 | 10/06/11 | 12:24 | 69 | 3 | 9 | |
| Rua São Joaquim | 38 | O1 | 10/04/11 | 12:26 | 47 | 1 | 5 | |
| | 39 | O2 | 10/05/11 | 12:02 | 45 | 0 | 13 | refeito |
| | 40 | O3 | 21/09/11 | 12:18 | 37 | 0 | 5 | |
| | 41 | O4 | 10/06/11 | 12:32 | 38 | 0 | 8 | |
| Rua Dom Pedro II | 42 | P1 | 10/04/11 | 12:34 | 40 | 1 | 4 | |
| | 43 | P2 | 21/09/11 | 12:27 | 45 | 0 | 10 | |
| | 44 | P3 | 10/06/11 | 12:40 | 39 | 0 | 6 | |
| Rua Rui Barbosa | 45 | Q1 | 10/04/11 | 12:42 | 47 | 1 | 2 | |
| | 46 | Q2 | 21/09/11 | 12:45 | 72 | 1 | 5 | |
| | 47 | Q3 | 21/09/11 | 12:35 | 60 | 0 | 6 | |
| | 48 | Q4 | 10/06/11 | 12:47 | 80 | 2 | 7 | |

APÊNDICE C - Quadro de horário de coleta de dados acústico e tráfego - noite.

| NOITE | | | | | | | | Observações |
|-----------------------------|-------|-------|----------|------------|---------------|--------|------|-------------|
| RUA | PONTO | PONTO | DIA | HORA NOITE | VEICULOS LEVE | PESADO | MOTO | |
| Rua Orlando Damiano | 1 | A1 | 09/01/11 | 18:10 | 10 | 0 | 1 | |
| | 2 | A2 | 09/01/11 | 18:00 | 17 | 0 | 6 | |
| Rua Tiradentes | 3 | B1 | 09/01/11 | 18:18 | 18 | 0 | 2 | |
| | 4 | B2 | 09/01/11 | 18:28 | 13 | 0 | 4 | |
| Rua Vinte e Oito de Outubro | 5 | C1 | 09/01/11 | 18:45 | 22 | 0 | 3 | |
| | 6 | C2 | 09/01/11 | 18:35 | 26 | 0 | 3 | |
| Av. Carlos Botelho | 7 | D1 | 13/09/11 | 18:10 | 119 | 4 | 23 | |
| | 8 | D2 | 13/09/11 | 18:20 | 67 | 3 | 8 | |
| | 9 | D3 | 13/09/11 | 18:28 | 53 | 2 | 5 | |
| Rua Quinze de Novembro | 10 | E1 | 13/09/11 | 18:01 | 102 | 3 | 10 | |
| | 11 | E2 | 13/09/11 | 18:36 | 77 | 2 | 3 | |
| Rua São Sebastião | 12 | F1 | 14/09/11 | 18:10 | 31 | 0 | 7 | |
| | 13 | F2 | 14/09/11 | 18:00 | 36 | 1 | 12 | |
| | 14 | F3 | 20/09/11 | 18:02 | 31 | 0 | 7 | |
| Rua Padre Teixeira | 15 | G1 | 14/09/11 | 18:18 | 28 | 0 | 5 | |
| | 16 | G2 | 20/09/11 | 18:17 | 33 | 1 | 3 | |
| Rua Marechal Deodoro | 17 | H1 | 14/09/11 | 18:26 | 19 | 0 | 5 | |
| | 18 | H2 | 20/09/11 | 18:34 | 17 | 0 | 8 | |
| | 19 | H3 | 20/09/11 | 18:26 | 32 | 0 | 6 | |
| Rua Sete de Setembro | 20 | I1 | 14/09/11 | 18:35 | 20 | 0 | 8 | |
| | 21 | I2 | 20/09/11 | 18:41 | 18 | 1 | 4 | |
| Rua Major Jose Inácio | 22 | J1 | 14/09/11 | 18:45 | 10 | 0 | 0 | |
| | 23 | J2 | 14/09/11 | 18:51 | 18 | 0 | 8 | |
| | 24 | J3 | 20/09/11 | 18:50 | 25 | 1 | 1 | |
| Rua Nove de Julho | 25 | K1 | 10/06/11 | 18:28 | 38 | 0 | 2 | |
| | 26 | K2 | 10/11/11 | 18:17 | 30 | 0 | 2 | |
| | 27 | K3 | 10/11/11 | 18:27 | 36 | 0 | 4 | |
| Rua Episcopal | 28 | L1 | 10/04/11 | 18:33 | 66 | 0 | 5 | |
| | 29 | L2 | 10/11/11 | 18:09 | 70 | 1 | 6 | |
| | 30 | L3 | 10/11/11 | 18:35 | 74 | 0 | 7 | |
| Av. São Carlos | 31 | M1 | 10/04/11 | 18:40 | 84 | 6 | 17 | |
| | 32 | M2 | 10/06/11 | 18:18 | 131 | 6 | 22 | |
| | 33 | M3 | 10/11/11 | 18:53 | 77 | 3 | 18 | |
| | 34 | M4 | 10/11/11 | 18:43 | 70 | 10 | 14 | |
| Rua Alexandrina | 35 | N1 | 10/04/11 | 18:24 | 71 | 3 | 13 | |
| | 36 | N2 | 13/10/11 | 18:31 | 47 | 5 | 7 | refeito |
| | 37 | N3 | 22/09/11 | 18:09 | 58 | 8 | 13 | |
| Rua São Joaquim | 38 | O1 | 10/04/11 | 18:16 | 49 | 1 | 12 | |
| | 39 | O2 | 10/06/11 | 18:09 | 61 | 1 | 13 | |
| | 40 | O3 | 22/09/11 | 18:00 | 65 | 0 | 10 | |
| | 41 | O4 | 22/09/11 | 18:16 | 44 | 0 | 5 | |
| Rua Dom Pedro II | 42 | P1 | 10/04/11 | 18:08 | 47 | 0 | 12 | |
| | 43 | P2 | 22/09/11 | 18:51 | 30 | 0 | 4 | |
| | 44 | P3 | 13/10/11 | 18:20 | 37 | 0 | 5 | refeito |
| Rua Rui Barbosa | 45 | Q1 | 10/04/11 | 18:00 | 50 | 2 | 9 | |
| | 46 | Q2 | 10/06/11 | 18:00 | 70 | 0 | 6 | |
| | 47 | Q3 | 22/09/11 | 18:42 | 65 | 3 | 7 | |
| | 48 | Q4 | 22/09/11 | 18:32 | 58 | 0 | 9 | |

APÊNDICE D - Quadro de topografia e localização geográfica, com destaque para o ponto mais baixo e mais alto, com base no Google Earth.

| RUA | Ponto | Ponto | Altitude | Latitude | Longitude |
|-----------------------------|-------|-------|----------|---------------|---------------|
| Rua Orlando Damiano | 1 | A1 | 863 | 22° 0'31.37"S | 47°53'29.01"W |
| | 2 | A2 | 861 | 22° 0'31.07"S | 47°53'18.02"W |
| Rua Tiradentes | 3 | B1 | 868 | 22° 0'34.60"S | 47°53'25.39"W |
| | 4 | B2 | 862 | 22° 0'34.44"S | 47°53'14.63"W |
| Rua Vinte e Oito de Outubro | 5 | C1 | 870 | 22° 0'37.92"S | 47°53'29.08"W |
| | 6 | C2 | 870 | 22° 0'37.68"S | 47°53'18.33"W |
| Av Carlos Botelho | 7 | D1 | 871 | 22° 0'41.35"S | 47°53'32.38"W |
| | 8 | D2 | 874 | 22° 0'41.24"S | 47°53'22.07"W |
| | 9 | D3 | 875 | 22° 0'40.97"S | 47°53'14.69"W |
| Rua Quinze de Novembro | 10 | E1 | 871 | 22° 0'44.55"S | 47°53'28.90"W |
| | 11 | E2 | 874 | 22° 0'44.26"S | 47°53'18.21"W |
| Rua São Sebastião | 12 | F1 | 862 | 22° 0'47.79"S | 47°53'32.48"W |
| | 13 | F2 | 866 | 22° 0'47.73"S | 47°53'24.85"W |
| | 14 | F3 | 874 | 22° 0'47.68"S | 47°53'14.43"W |
| Rua Padre Teixeira | 15 | G1 | 858 | 22° 0'51.10"S | 47°53'28.91"W |
| | 16 | G2 | 867 | 22° 0'51.07"S | 47°53'17.90"W |
| Rua Marechal Deodoro | 17 | H1 | 848 | 22° 0'54.53"S | 47°53'31.97"W |
| | 18 | H2 | 858 | 22° 0'54.38"S | 47°53'21.42"W |
| | 19 | H3 | 865 | 22° 0'54.29"S | 47°53'14.35"W |
| Rua Sete de Setembro | 20 | I1 | 849 | 22° 0'57.81"S | 47°53'28.26"W |
| | 21 | I2 | 854 | 22° 0'57.63"S | 47°53'17.84"W |
| Rua Major Jose Inácio | 22 | J1 | 839 | 22° 1'1.15"S | 47°53'31.97"W |
| | 23 | J2 | 843 | 22° 1'1.03"S | 47°53'24.98"W |
| | 24 | J3 | 850 | 22° 1'0.83"S | 47°53'14.11"W |
| Rua Nove de Julho | 25 | K1 | 870 | 22° 0'43.24"S | 47°53'34.17"W |
| | 26 | K2 | 846 | 22° 0'53.18"S | 47°53'34.00"W |
| | 27 | K3 | 830 | 22° 1'2.96"S | 47°53'33.82"W |
| Rua Episcopal | 28 | L1 | 867 | 22° 0'36.42"S | 47°53'30.82"W |
| | 29 | L2 | 859 | 22° 0'49.61"S | 47°53'30.48"W |
| | 30 | L3 | 845 | 22° 0'59.62"S | 47°53'30.28"W |
| Av São Carlos | 31 | M1 | 867 | 22° 0'33.42"S | 47°53'27.33"W |
| | 32 | M2 | 871 | 22° 0'43.23"S | 47°53'27.05"W |
| | 33 | M3 | 857 | 22° 0'52.93"S | 47°53'26.81"W |
| | 34 | M4 | 839 | 22° 1'2.80"S | 47°53'26.62"W |
| Rua Alexandrina | 35 | N1 | 869 | 22° 0'36.37"S | 47°53'23.61"W |
| | 36 | N2 | 865 | 22° 0'49.46"S | 47°53'23.28"W |
| | 37 | N3 | 846 | 22° 0'59.43"S | 47°53'23.06"W |
| Rua São Joaquim | 38 | O1 | 864 | 22° 0'33.19"S | 47°53'20.14"W |
| | 39 | O2 | 874 | 22° 0'42.84"S | 47°53'19.95"W |
| | 40 | O3 | 863 | 22° 0'52.70"S | 47°53'19.68"W |
| | 41 | O4 | 842 | 22° 1'2.83"S | 47°53'19.42"W |
| Rua Dom Pedro II | 42 | P1 | 867 | 22° 0'36.27"S | 47°53'16.53"W |
| | 43 | P2 | 871 | 22° 0'49.47"S | 47°53'16.16"W |
| | 44 | P3 | 852 | 22° 0'59.48"S | 47°53'15.93"W |
| Rua Rui Barbosa | 45 | Q1 | 860 | 22° 0'33.18"S | 47°53'12.82"W |
| | 46 | Q2 | 872 | 22° 0'42.79"S | 47°53'12.61"W |
| | 47 | Q3 | 867 | 22° 0'53.04"S | 47°53'12.49"W |
| | 48 | Q4 | 847 | 47°53'12.49"W | 47°53'12.49"W |

APÊNDICE E - Níveis de pressão sonora para o período da manhã

| MANHÃ | | | | | |
|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
| Ponto | PONTO | Leq(A) | LAF10.0 | LAF50.0 | LAF90.0 |
| 1 | a1 | 62.23 | 65.19 | 60.44 | 55.95 |
| 2 | a2 | 60.12 | 61.62 | 54.56 | 50.69 |
| 3 | b1 | 70.35 | 74.2 | 67.41 | 61.46 |
| 4 | b2 | 64.97 | 66.3 | 55.1 | 50.79 |
| 5 | c1 | 64.32 | 67.86 | 60.05 | 54.64 |
| 6 | c2 | 64.53 | 67.84 | 57.23 | 51.82 |
| 7 | d1 | 71.92 | 75.65 | 69.22 | 62.66 |
| 8 | d2 | 76.37 | 80.26 | 72.49 | 62.31 |
| 9 | d3 | 74.14 | 76.3 | 68.99 | 62.5 |
| 10 | e1 | 70.9 | 74.65 | 67.67 | 59.24 |
| 11 | e2 | 71.08 | 74.13 | 67.42 | 58.94 |
| 12 | f1 | 63.67 | 65.56 | 58.69 | 54.54 |
| 13 | f2 | 61.25 | 64.79 | 57.66 | 53.27 |
| 14 | f3 | 67.1 | 70.42 | 63.3 | 56.99 |
| 15 | g1 | 65.25 | 69.15 | 62.59 | 55.64 |
| 16 | g2 | 69.06 | 71.39 | 62.84 | 55.77 |
| 17 | h1 | 67.86 | 71.01 | 60.02 | 51.25 |
| 18 | h2 | 65.69 | 68.69 | 61.66 | 52.27 |
| 19 | h3 | 65.79 | 69.15 | 61.91 | 56.86 |
| 20 | i1 | 67.28 | 70.65 | 62.1 | 56.74 |
| 21 | i2 | 61.68 | 66.06 | 56.65 | 51 |
| 22 | j1 | 61.73 | 65.7 | 56.93 | 52.34 |
| 23 | j2 | 66.21 | 69.49 | 61.31 | 56.23 |
| 24 | j3 | 63.22 | 67.59 | 57.51 | 50.32 |
| 25 | k1 | 64.4 | 67.79 | 59.07 | 55.29 |
| 26 | k2 | 68.23 | 71.57 | 61.43 | 52.65 |
| 27 | k3 | 71.72 | 73.64 | 64.68 | 54.85 |
| 28 | l1 | 70.76 | 74.78 | 68.17 | 59.72 |
| 29 | l2 | 69.88 | 71.42 | 66.28 | 58.56 |
| 30 | l3 | 66.72 | 70.56 | 63.46 | 56.05 |
| 31 | m1 | 71.04 | 74.55 | 67.76 | 57.44 |
| 32 | m2 | 73.37 | 75.59 | 66.16 | 58.47 |
| 33 | m3 | 80.59 | 78.48 | 68.98 | 57.06 |
| 34 | m4 | 79.68 | 83.18 | 72.66 | 60.63 |
| 35 | n1 | 72.75 | 75.06 | 69.38 | 61.82 |
| 36 | n2 | 69.35 | 72.71 | 62.47 | 54.76 |
| 37 | n3 | 70.38 | 73.89 | 64.28 | 56.71 |
| 38 | o1 | 67.91 | 72.16 | 62.08 | 54.38 |
| 39 | o2 | 69.99 | 72.04 | 66.56 | 63.26 |
| 40 | o3 | 68.46 | 71.82 | 57.96 | 50.08 |
| 41 | o4 | 65.07 | 69.11 | 60.94 | 54.53 |
| 42 | p1 | 74.33 | 77.43 | 67.78 | 56.84 |
| 43 | p2 | 65.86 | 68.28 | 57.12 | 51.38 |
| 44 | p3 | 68.22 | 72.39 | 64.09 | 55.32 |
| 45 | q1 | 73.49 | 77.78 | 67.16 | 56.79 |
| 46 | q2 | 74.54 | 77.25 | 69.31 | 63.45 |
| 47 | q3 | 71.16 | 73.5 | 67.96 | 60.24 |
| 48 | q4 | 71.99 | 74.91 | 67.39 | 60.49 |

APÊNDICE F - Níveis de pressão sonora para o período da tarde.

| TARDE | | | | | |
|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
| Ponto | PONTO | Leq(A) | LAF10.0 | LAF50.0 | LAF90.0 |
| 1 | a1 | 62.57 | 65.67 | 58.09 | 54.52 |
| 2 | a2 | 63.04 | 67.74 | 56.6 | 51.9 |
| 3 | b1 | 61.72 | 64.82 | 56.47 | 50.98 |
| 4 | b2 | 60.3 | 63.6 | 53.83 | 46.14 |
| 5 | c1 | 64.46 | 67.06 | 58.52 | 52.91 |
| 6 | c2 | 63.65 | 67.64 | 57.59 | 49.84 |
| 7 | d1 | 71.69 | 75.88 | 68.74 | 60.84 |
| 8 | d2 | 72.31 | 76.05 | 67.45 | 59.09 |
| 9 | d3 | 69.12 | 71.96 | 66.56 | 57.82 |
| 10 | e1 | 70.15 | 73.82 | 64.24 | 56.9 |
| 11 | e2 | 68.5 | 72.63 | 61.27 | 54.19 |
| 12 | f1 | 65.49 | 67.29 | 62.51 | 58.27 |
| 13 | f2 | 74.22 | 71.18 | 63.42 | 58.17 |
| 14 | f3 | 72.29 | 70.68 | 57.94 | 52.3 |
| 15 | g1 | 70.36 | 68.71 | 60.3 | 54.36 |
| 16 | g2 | 64.26 | 67.69 | 61.1 | 55.93 |
| 17 | h1 | 65.38 | 67.84 | 54.94 | 49.08 |
| 18 | h2 | 65.37 | 68.75 | 60.47 | 54.59 |
| 19 | h3 | 66.2 | 69.23 | 60.82 | 53.97 |
| 20 | i1 | 65.96 | 69.3 | 63.13 | 56.66 |
| 21 | i2 | 65.44 | 68.58 | 61.6 | 54.84 |
| 22 | j1 | 73.44 | 77.8 | 67.56 | 57.24 |
| 23 | j2 | 69.72 | 70.6 | 64.83 | 59.72 |
| 24 | j3 | 69.43 | 72.19 | 62.26 | 54.85 |
| 25 | k1 | 63.67 | 67.6 | 60.06 | 55.81 |
| 26 | k2 | 66 | 69.57 | 60.37 | 51.86 |
| 27 | k3 | 69.47 | 72.18 | 64.92 | 52.61 |
| 28 | l1 | 69.61 | 72.59 | 68.13 | 62.1 |
| 29 | l2 | 68.46 | 72 | 65.48 | 53.73 |
| 30 | l3 | 66.95 | 70.61 | 63.72 | 57.99 |
| 31 | m1 | 70.16 | 73.62 | 67.6 | 58.66 |
| 32 | m2 | 70.81 | 74.11 | 69.39 | 62.36 |
| 33 | m3 | 76.41 | 75.6 | 68.86 | 61.95 |
| 34 | m4 | 76.07 | 78.59 | 70.49 | 62.23 |
| 35 | n1 | 72.79 | 75.2 | 68.34 | 59.45 |
| 36 | n2 | 68.18 | 71.98 | 62.48 | 55.02 |
| 37 | n3 | 72.81 | 73.45 | 68.29 | 64.41 |
| 38 | o1 | 69.11 | 73.81 | 63.6 | 50.01 |
| 39 | o2 | 67.15 | 70.76 | 64.75 | 55.82 |
| 40 | o3 | 66.68 | 70.78 | 60.48 | 53.23 |
| 41 | o4 | 68.99 | 71.91 | 62.81 | 53.34 |
| 42 | p1 | 68.25 | 73.13 | 61.08 | 49.07 |
| 43 | p2 | 66.99 | 71.28 | 61.62 | 54.22 |
| 44 | p3 | 65.58 | 69.55 | 57.4 | 49.03 |
| 45 | q1 | 66.93 | 71.76 | 60.76 | 48.09 |
| 46 | q2 | 66.09 | 68.66 | 63.98 | 58.72 |
| 47 | q3 | 68.74 | 72.26 | 64.21 | 54.03 |
| 48 | q4 | 72.01 | 74.83 | 68.2 | 60.81 |

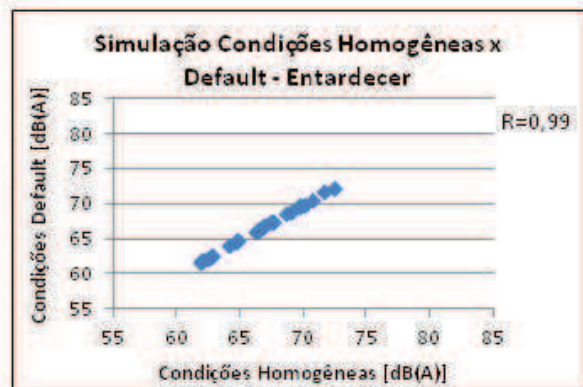
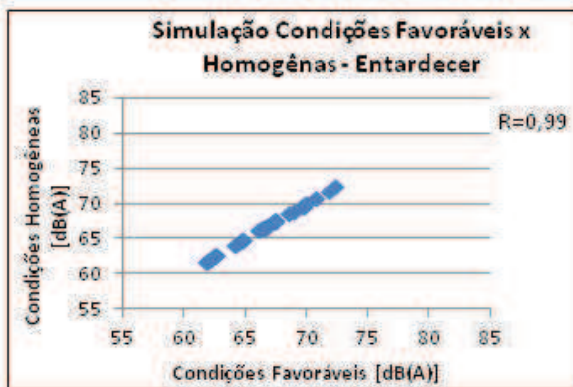
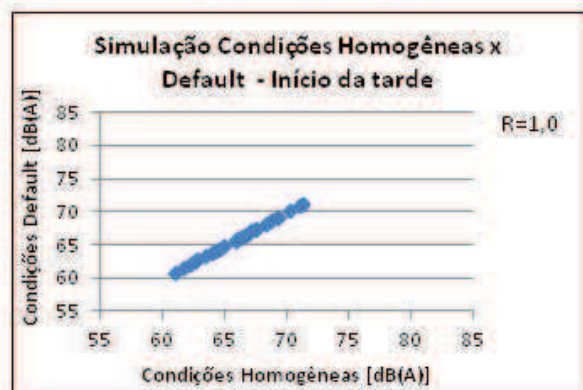
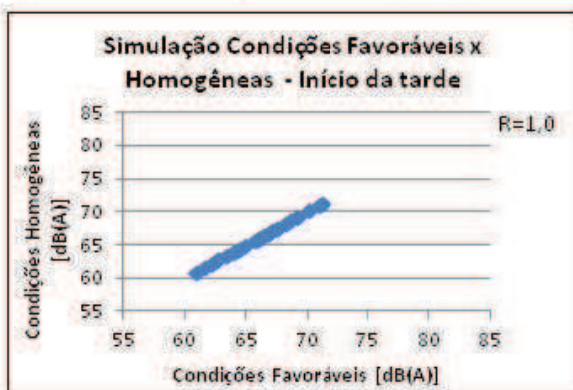
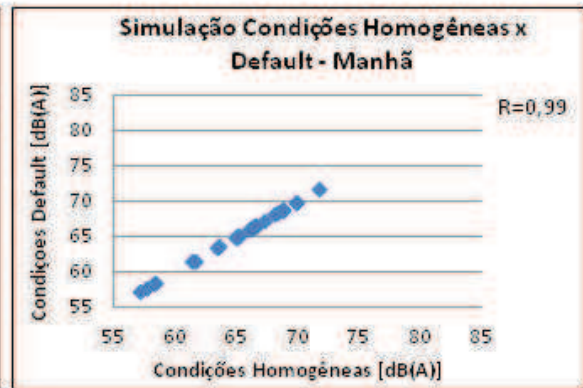
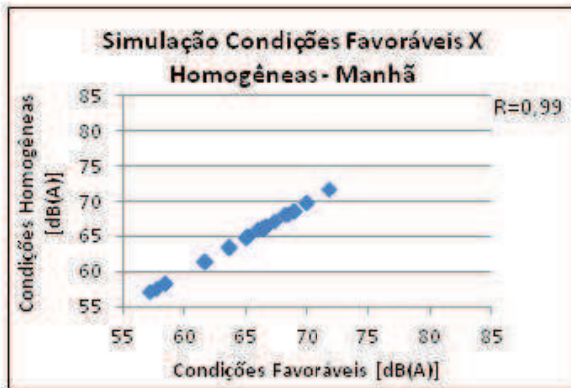
APÊNDICE G - Níveis de pressão sonora para o período da noite.

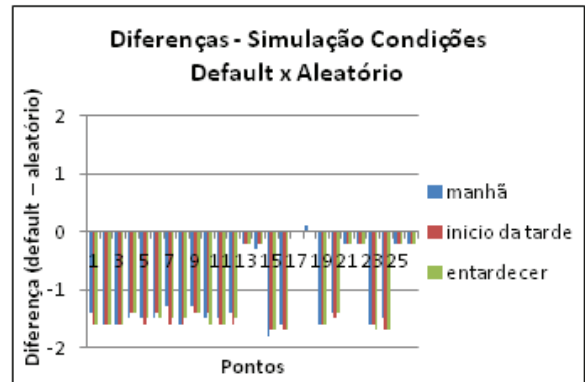
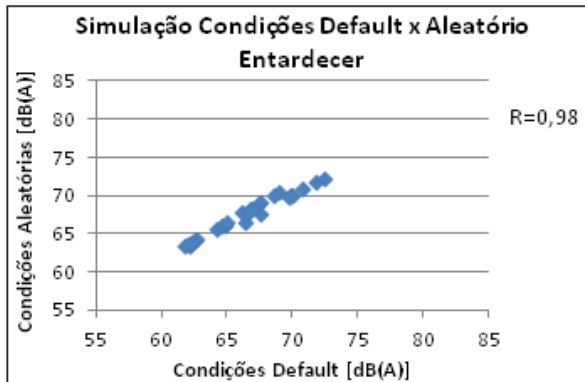
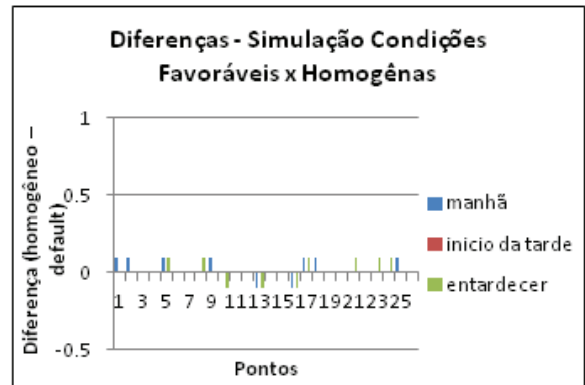
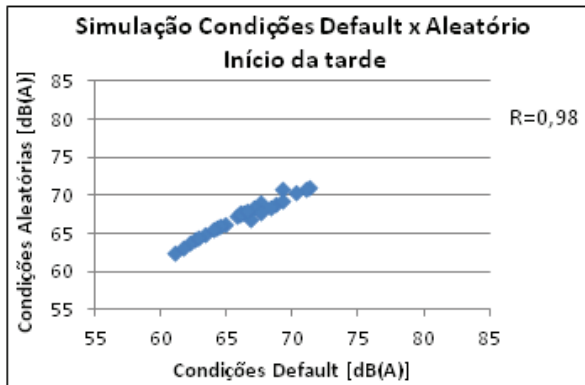
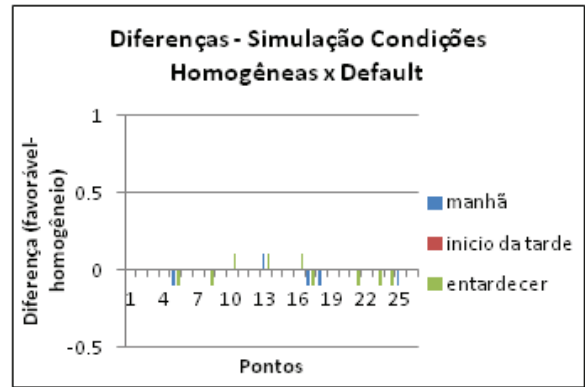
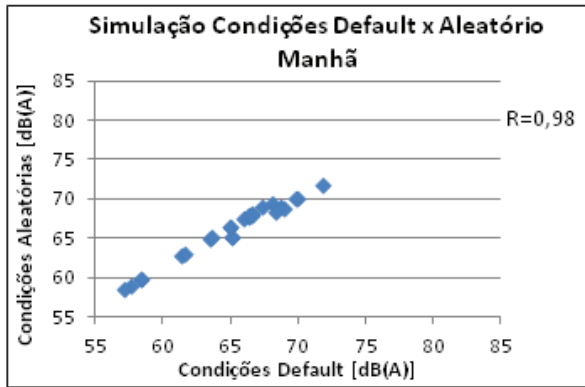
| NOITE | | | | | |
|-------|-------|--------|---------|---------|---------|
| Ponto | ponto | Leq(A) | LAF10.0 | LAF50.0 | LAF90.0 |
| 1 | a1 | 65.83 | 66.7 | 61.08 | 58.37 |
| 2 | a2 | 68.14 | 69.55 | 55.9 | 50.7 |
| 3 | b1 | 64.64 | 67.49 | 60.04 | 54.38 |
| 4 | b2 | 64.12 | 68.68 | 56.35 | 48.61 |
| 5 | c1 | 64.6 | 65.48 | 58.55 | 54.23 |
| 6 | c2 | 61.74 | 66.21 | 58.18 | 52.1 |
| 7 | d1 | 71.74 | 73.53 | 68.62 | 64.24 |
| 8 | d2 | 71.31 | 74.11 | 67.44 | 60.62 |
| 9 | d3 | 71.63 | 71.84 | 64.16 | 55.73 |
| 10 | e1 | 71.87 | 76.3 | 67.79 | 61.07 |
| 11 | e2 | 67.6 | 71.06 | 63.58 | 55.59 |
| 12 | f1 | 68.49 | 70.31 | 63.45 | 58.59 |
| 13 | f2 | 70.71 | 73.79 | 66.81 | 63.21 |
| 14 | f3 | 68.99 | 70.66 | 61.23 | 53.57 |
| 15 | g1 | 65.24 | 68.1 | 61.61 | 57.07 |
| 16 | g2 | 64.9 | 67.03 | 62.78 | 58.91 |
| 17 | h1 | 64.66 | 67.01 | 57.86 | 53.24 |
| 18 | h2 | 65.77 | 68.41 | 59.6 | 52.79 |
| 19 | h3 | 64.89 | 68.3 | 60.01 | 55.27 |
| 20 | i1 | 69.73 | 70.26 | 61.9 | 56.96 |
| 21 | i2 | 63.63 | 67.03 | 57.75 | 51.27 |
| 22 | j1 | 63.15 | 66.54 | 59.8 | 54.32 |
| 23 | j2 | 67.71 | 68.88 | 62.48 | 56.84 |
| 24 | j3 | 65.13 | 68.39 | 58.6 | 53.03 |
| 25 | k1 | 64.49 | 67.91 | 61.87 | 57.95 |
| 26 | k2 | 65.59 | 69.95 | 57.81 | 51.96 |
| 27 | k3 | 67.93 | 71.31 | 62.92 | 54.22 |
| 28 | l1 | 68.89 | 72.35 | 66.24 | 59.26 |
| 29 | l2 | 69.03 | 72.94 | 66.02 | 56.87 |
| 30 | l3 | 67.64 | 70.97 | 64.81 | 58.33 |
| 31 | m1 | 71.55 | 74.75 | 68.31 | 58.01 |
| 32 | m2 | 74.72 | 75.61 | 68.26 | 63.87 |
| 33 | m3 | 73.22 | 76.04 | 70.11 | 63.45 |
| 34 | m4 | 76.17 | 79.7 | 70.92 | 64.22 |
| 35 | n1 | 73.43 | 75.45 | 68.84 | 61.88 |
| 36 | n2 | 70.46 | 73.93 | 65.83 | 55.87 |
| 37 | n3 | 72.21 | 75.23 | 69.55 | 66.21 |
| 38 | o1 | 70.42 | 74.26 | 67.1 | 56.99 |
| 39 | o2 | 74.75 | 75.36 | 68.47 | 62.38 |
| 40 | o3 | 68.79 | 71.94 | 65.27 | 57.1 |
| 41 | o4 | 69.9 | 72.55 | 63.42 | 56.83 |
| 42 | p1 | 70.57 | 73.76 | 64.93 | 53 |
| 43 | p2 | 64.53 | 68.69 | 57.57 | 51.87 |
| 44 | p3 | 64.77 | 69.34 | 58.73 | 52.15 |
| 45 | q1 | 70.38 | 72.36 | 63.78 | 52.68 |
| 46 | q2 | 66.5 | 69.96 | 63.55 | 58.94 |
| 47 | q3 | 69.72 | 72.46 | 66.99 | 59.15 |
| 48 | q4 | 71.36 | 73.3 | 67.15 | 59.52 |

APÊNDICE H – Discriminação do destino dos receptores utilizados para a validação

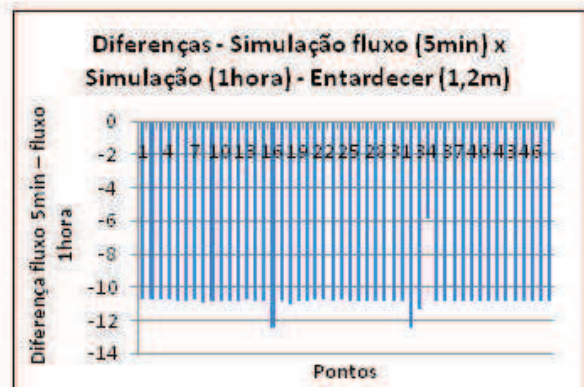
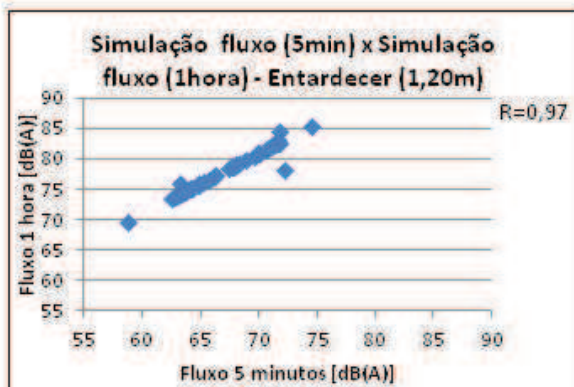
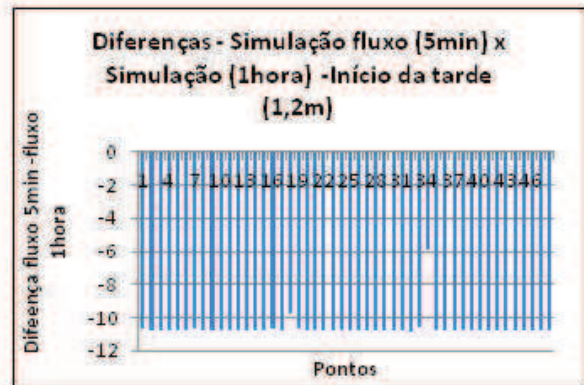
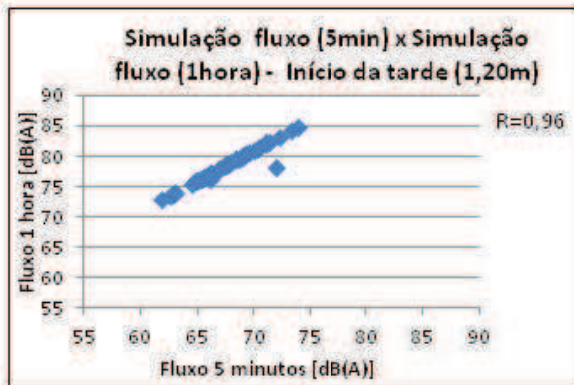
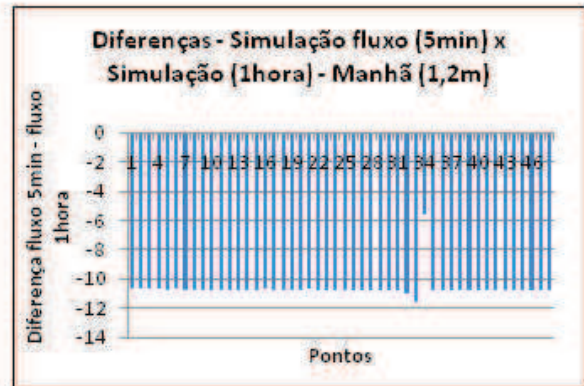
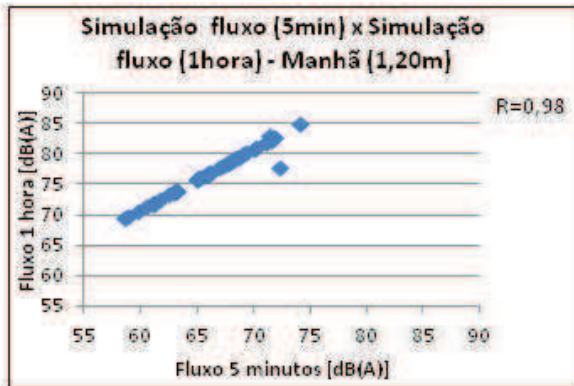
| Ponto/ receptor | Parte |
|--------------------|---------|
| 1 | Parte 1 |
| 2 | Parte 1 |
| 3 | Parte 1 |
| 4 | Parte 1 |
| 5 | Parte 1 |
| 6 | Parte 1 |
| 7 | Parte 2 |
| 8 | Parte 2 |
| 9 | Parte 2 |
| 10 | Parte 2 |
| 11 | Parte 2 |
| 12 | Parte 2 |
| 13 | Parte 2 |
| 14 | Parte 2 |
| 15 | Parte 3 |
| 16 | Parte 3 |
| 17 | Parte 3 |
| 18 | Parte 3 |
| 19 | Parte 3 |
| 20 | Parte 3 |
| 21 | Parte 3 |
| 22 | Parte 3 |
| 23 | Parte 3 |
| 24 | Parte 3 |
| 25 | Parte 2 |
| 26 | Parte 3 |
| 27 | Parte 3 |
| 28 | Parte 1 |
| 29 | Parte 2 |
| 30 | Parte 3 |
| 31 | Parte 1 |
| 32 | Parte 2 |
| 33 | Parte 3 |
| 34 | Parte 3 |
| 35 | Parte 1 |
| 36 | Parte 2 |
| 37 | Parte 3 |
| 38 | Parte 1 |
| 39 | Parte 2 |
| 40 | Parte 3 |
| 41 | Parte 3 |
| 42 | Parte 1 |
| 43 | Parte 2 |
| 44 | Parte 3 |
| 45 | Parte 1 |
| 46 | Parte 2 |
| 47 | Parte 3 |
| 48 | Parte 3 |

APÊNDICE I - Análise 1 de sensibilidade do modelo à variável de condições meteorológicas

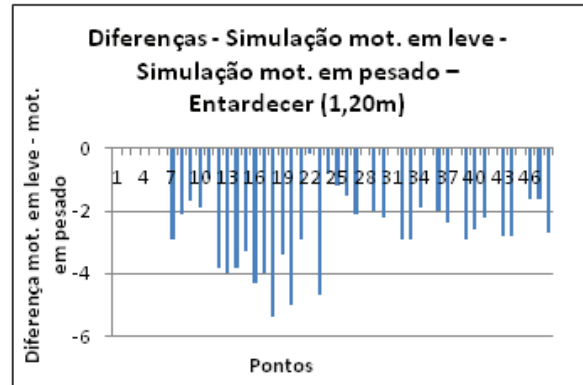
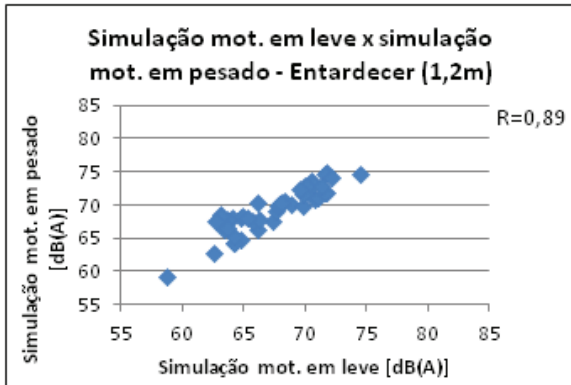
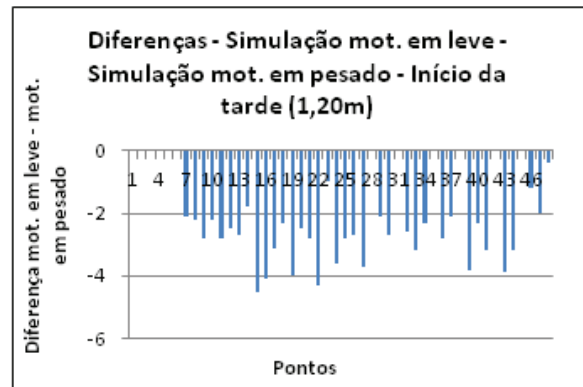
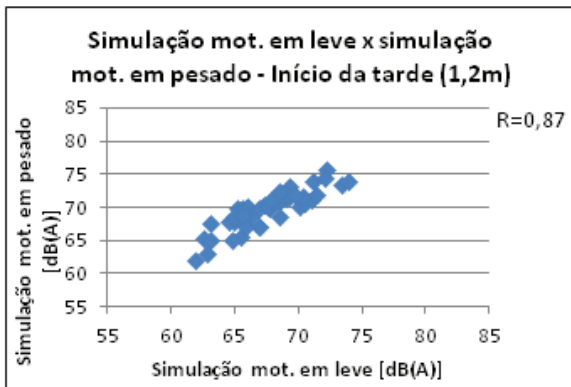
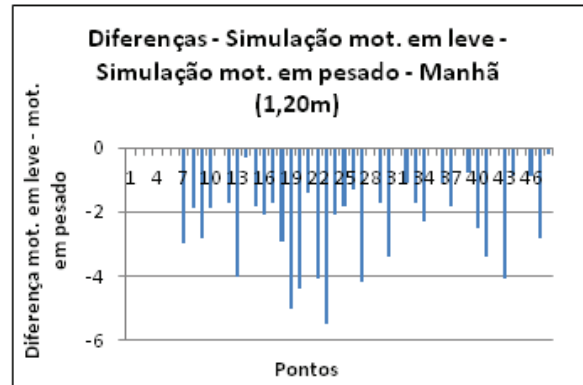
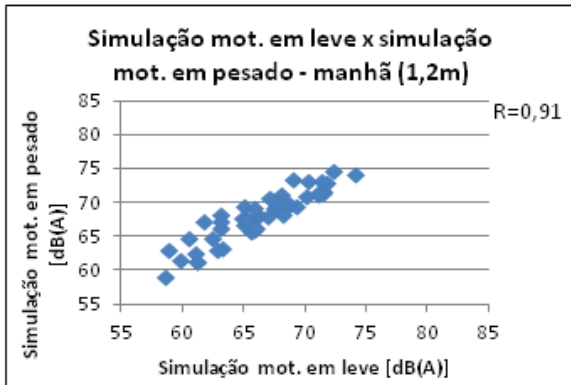




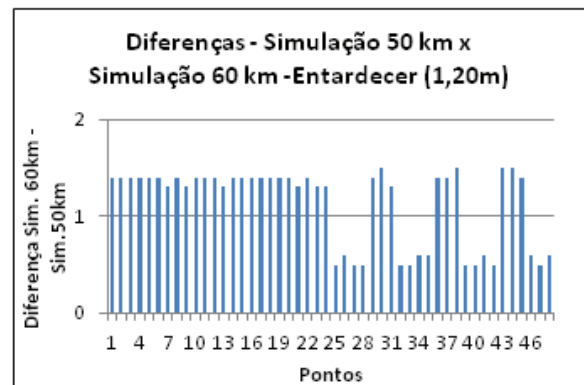
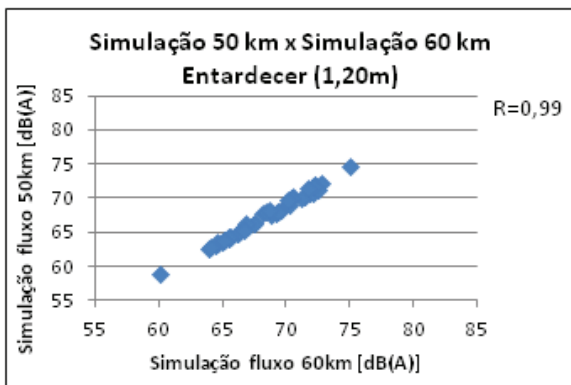
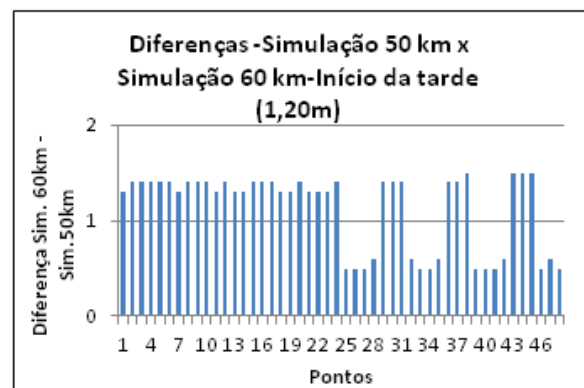
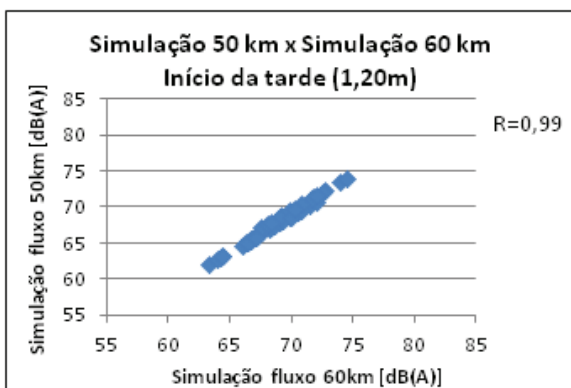
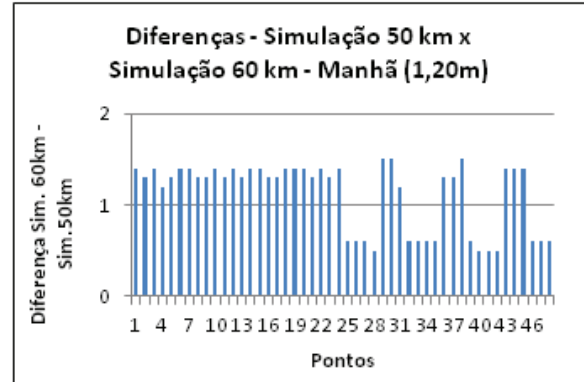
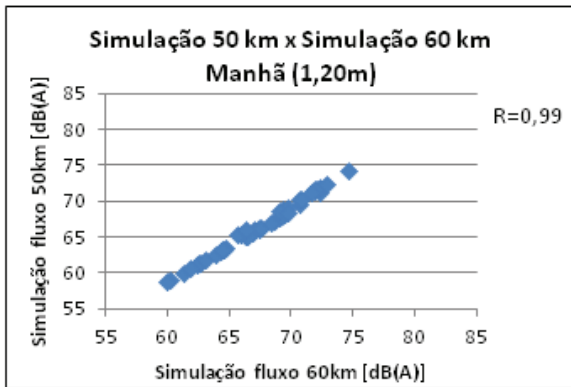
APÊNDICE J – Análise 2 de sensibilidade do modelo à variável tempo de amostragem de fluxo de veículos



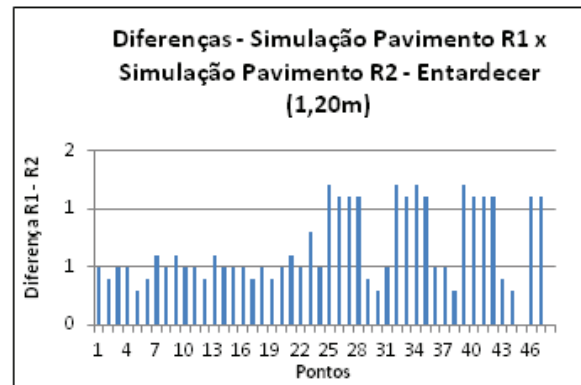
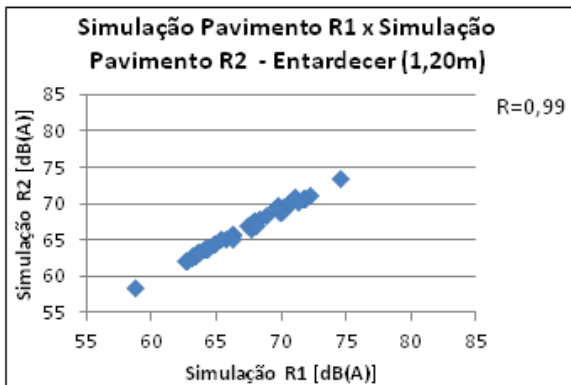
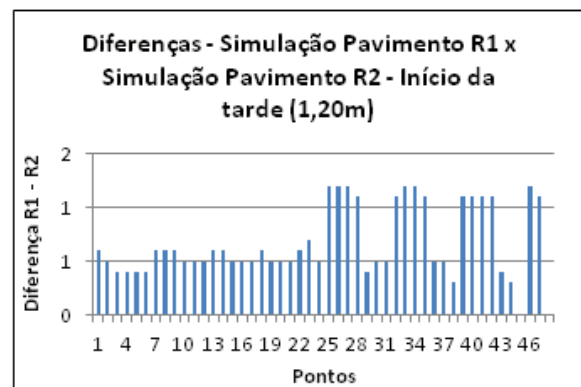
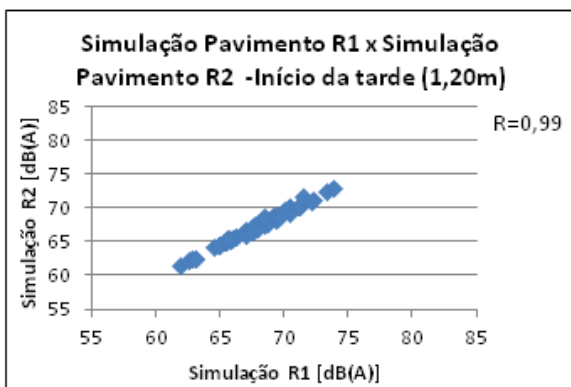
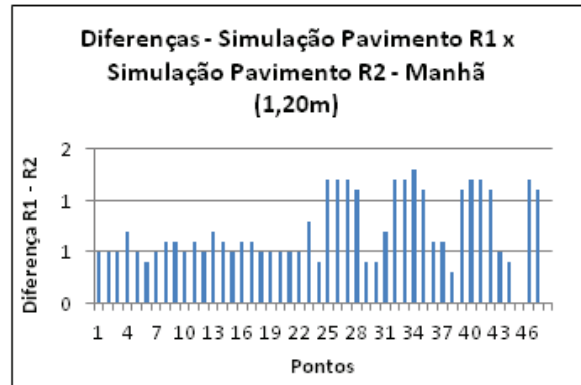
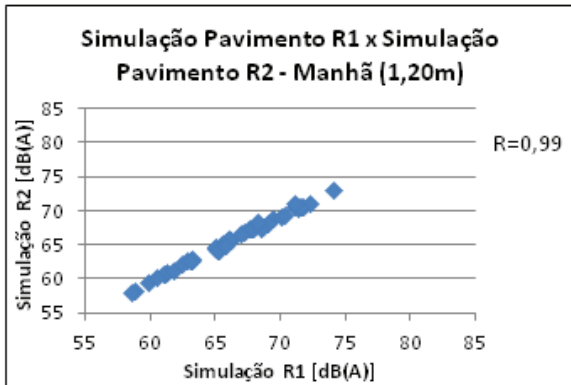
APÊNDICE K - Análise 3 de sensibilidade do modelo à variável motocicletas como veículos leves ou pesados

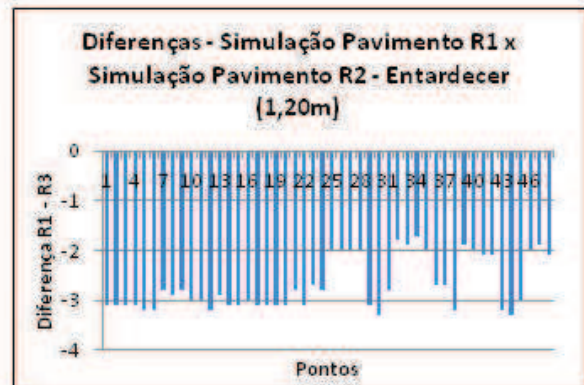
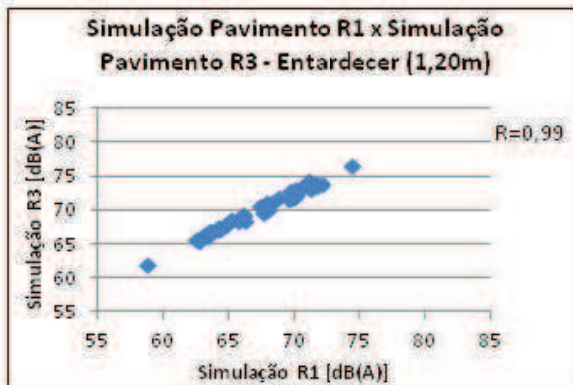
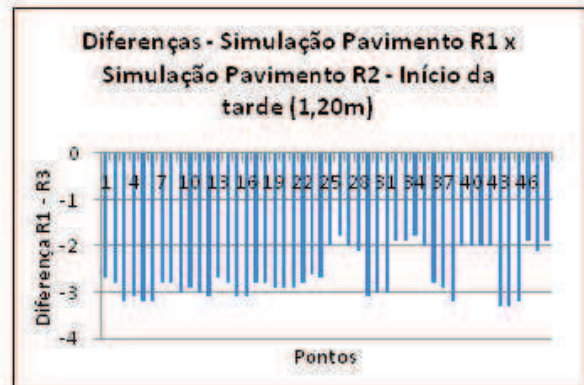
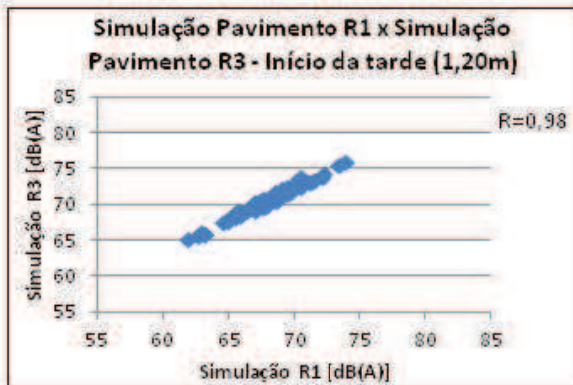
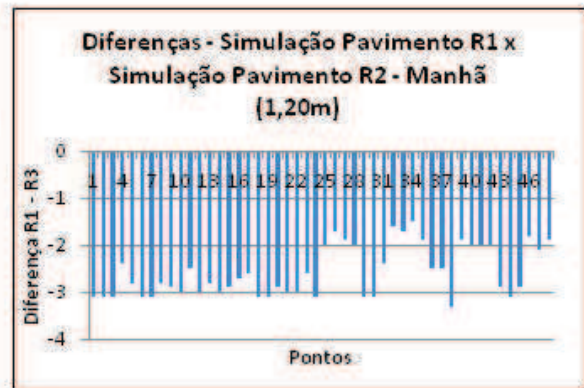
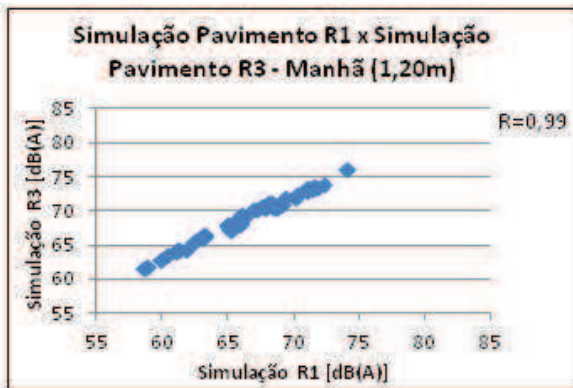


APÊNDICE L - Análise 4 de sensibilidade do modelo à variável velocidade dos veículos

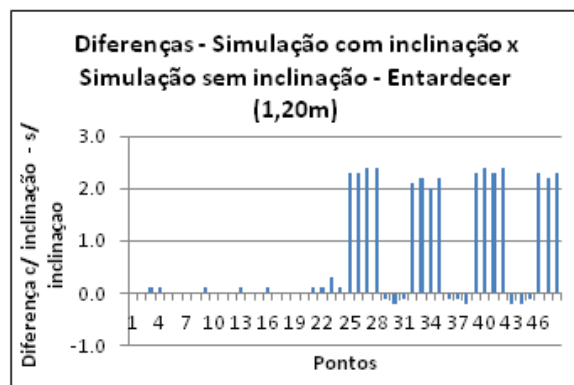
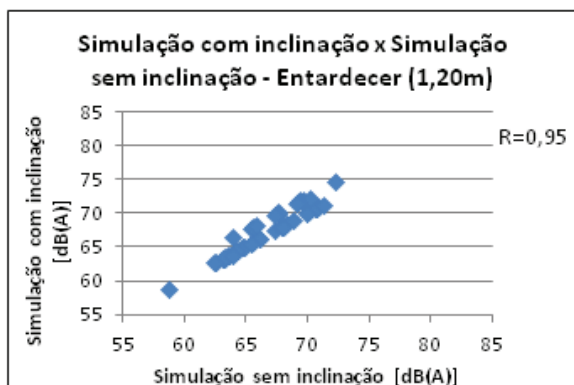
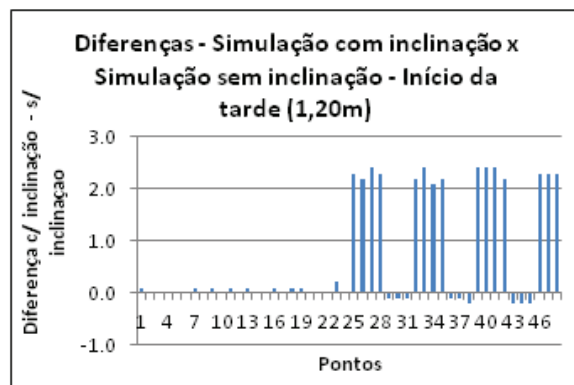
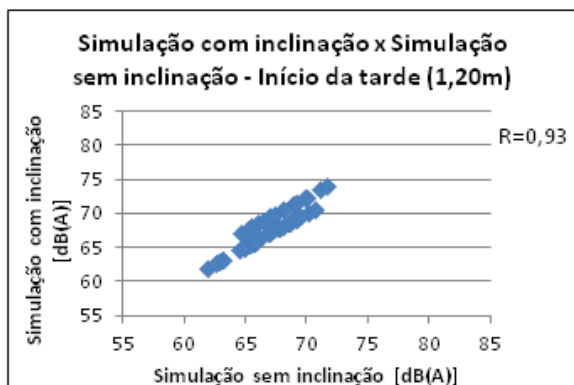
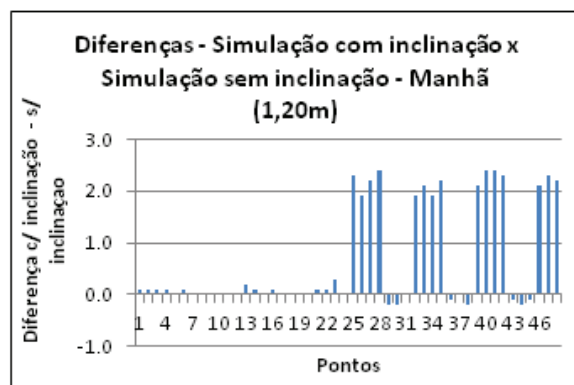
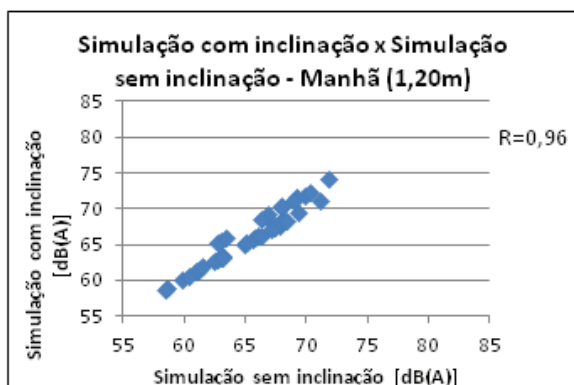


APÊNDICE M - Análise 5 de sensibilidade do modelo à variável tipo de pavimento

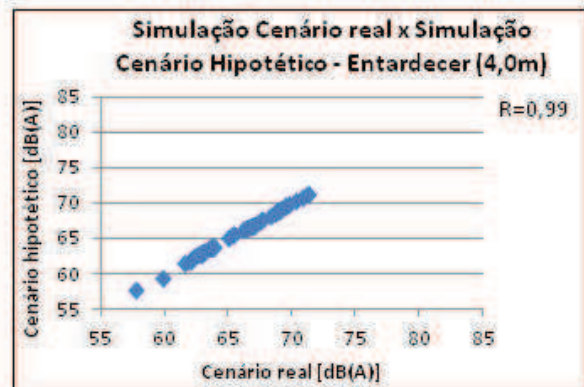
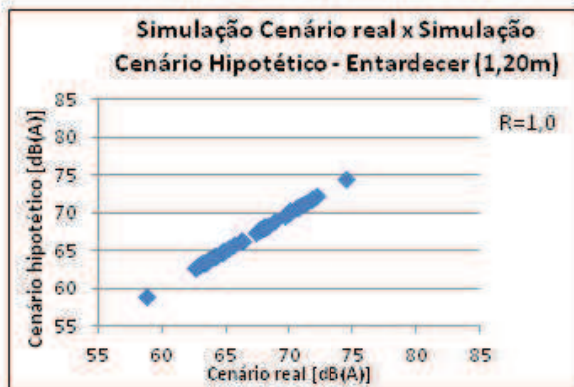
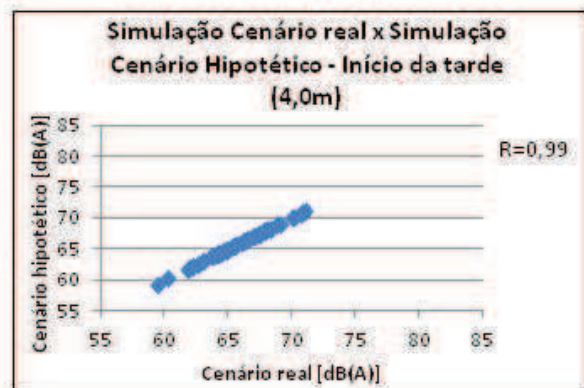
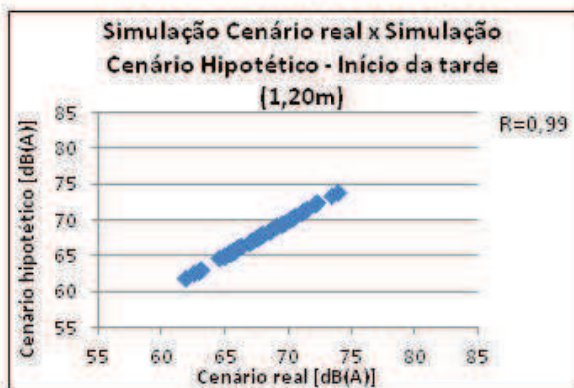
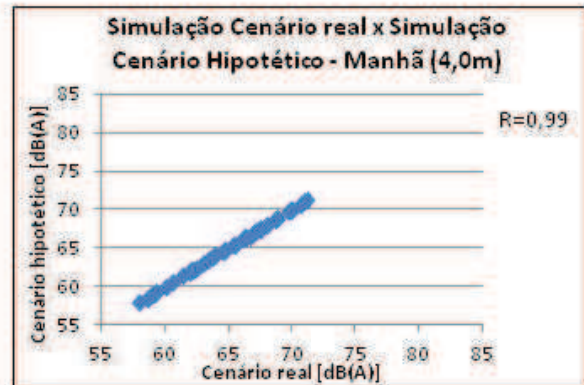
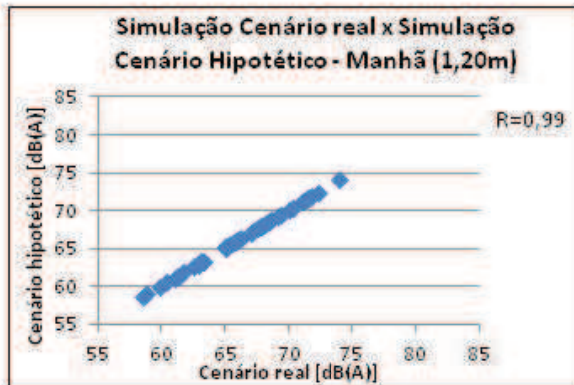


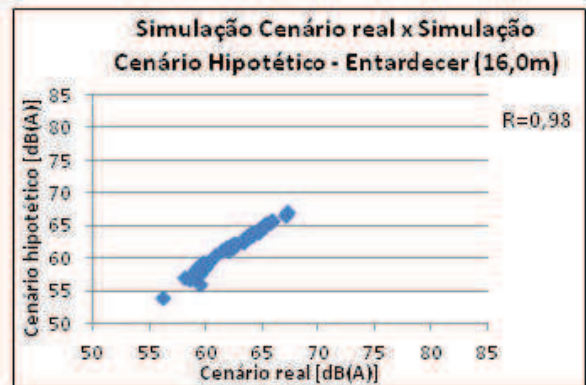
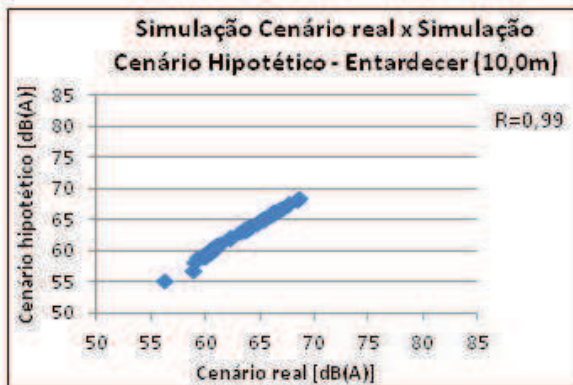
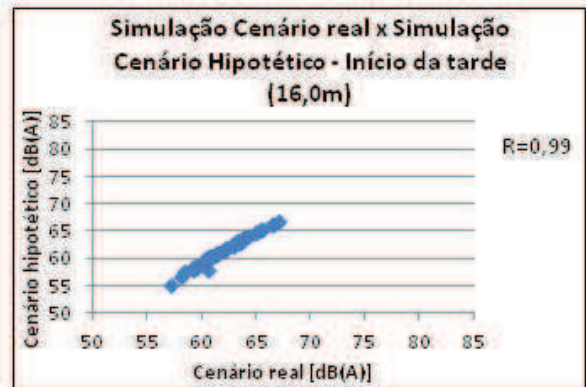
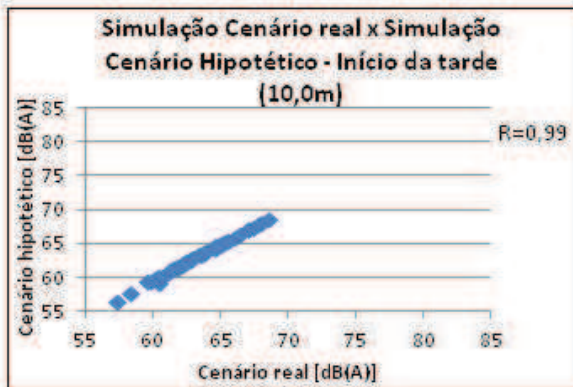
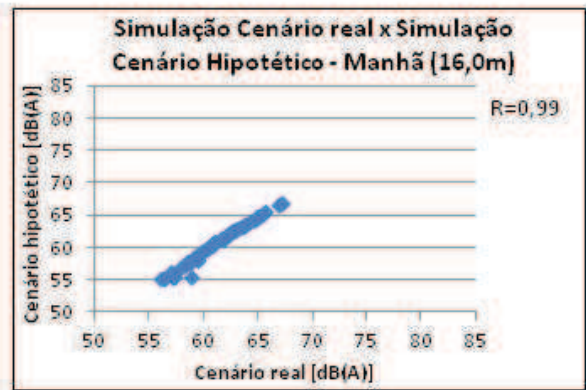
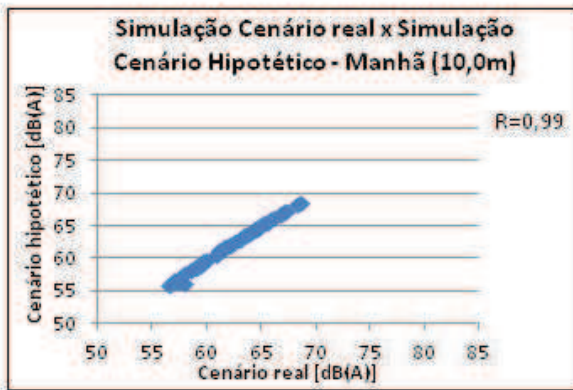


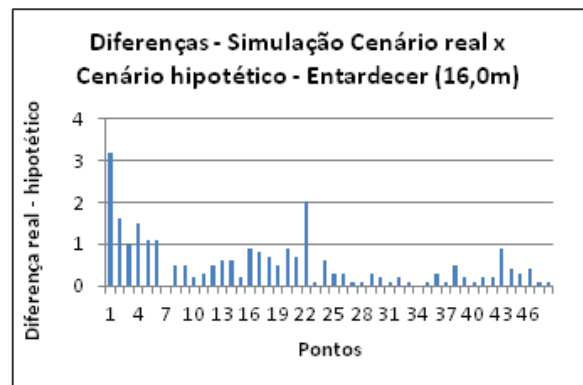
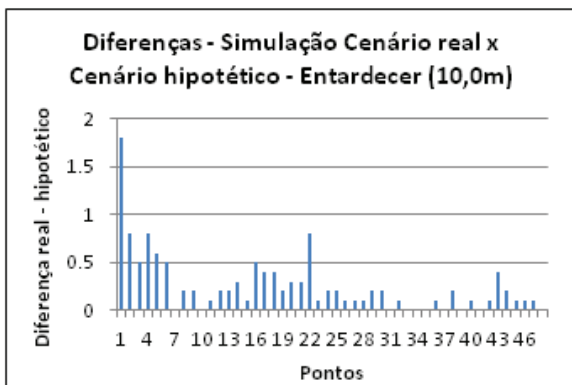
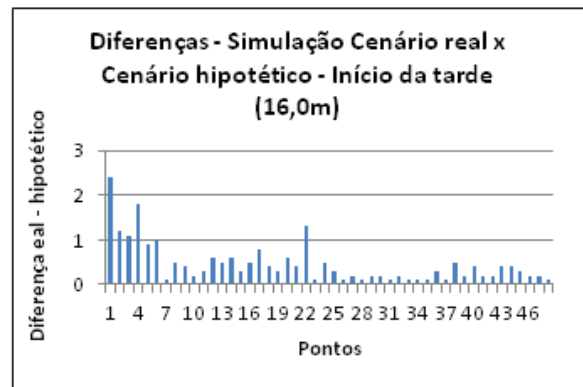
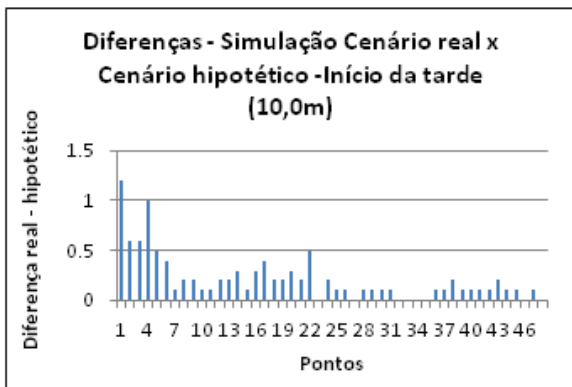
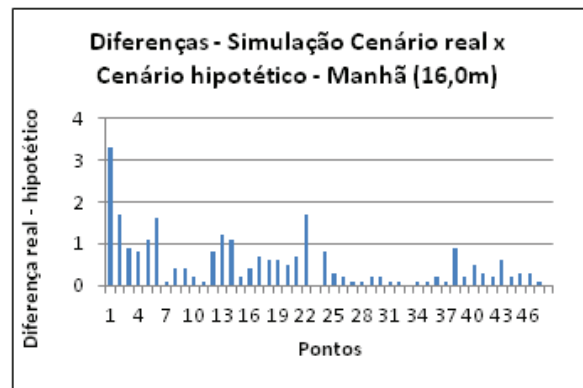
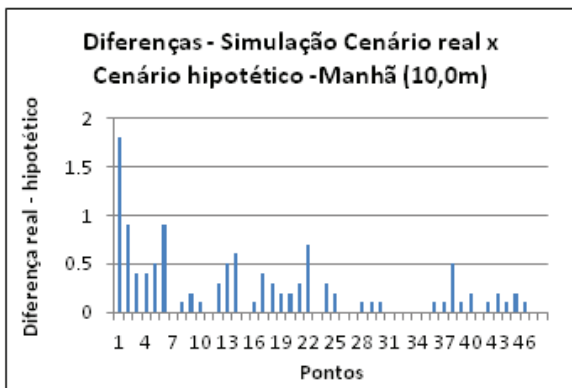
APÊNDICE N - Análise 6 de sensibilidade do modelo à variável inclinação da via



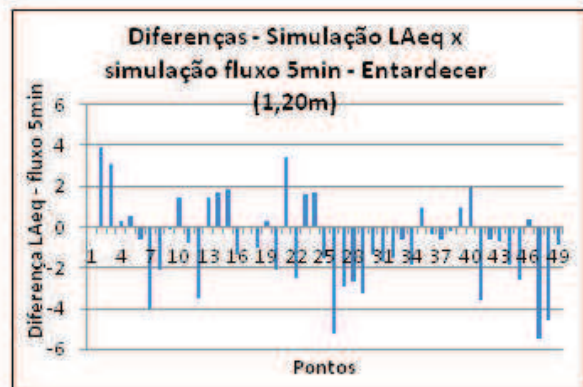
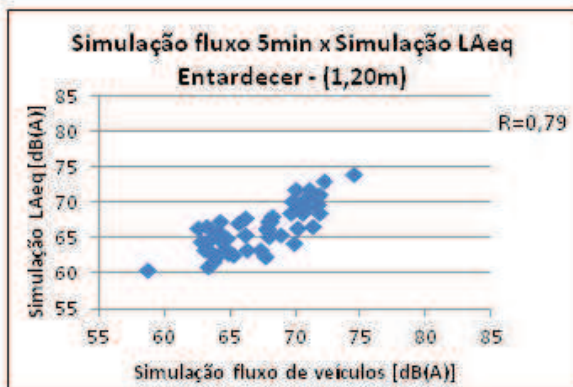
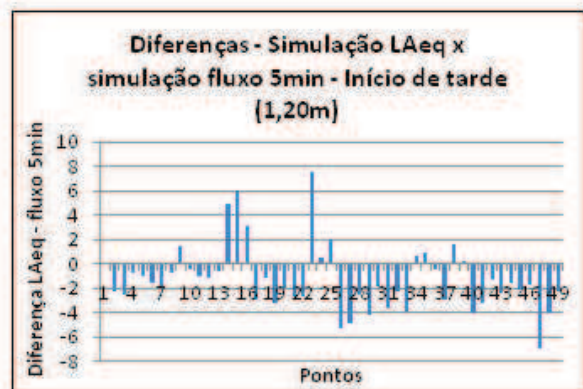
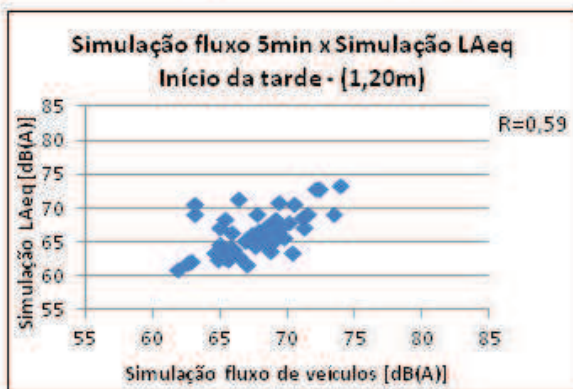
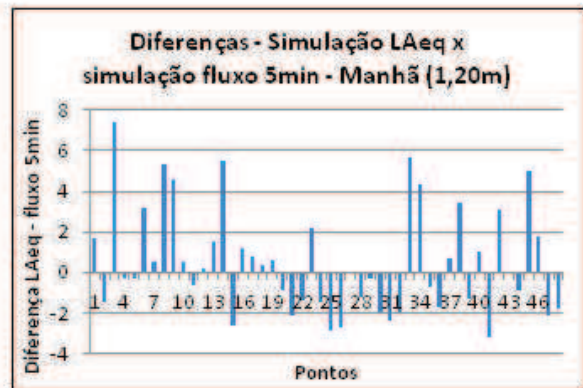
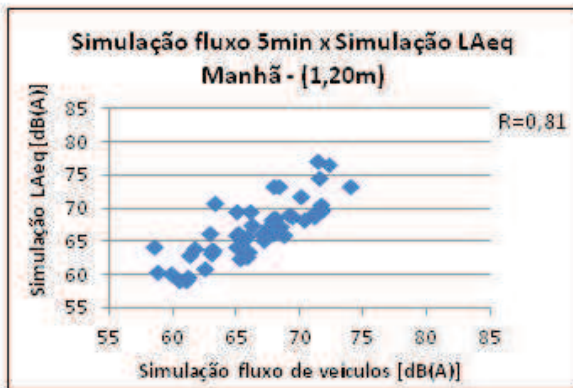
APÊNDICE O - Análise 7 de sensibilidade do modelo à variável cenário das edificações e altura do receptor



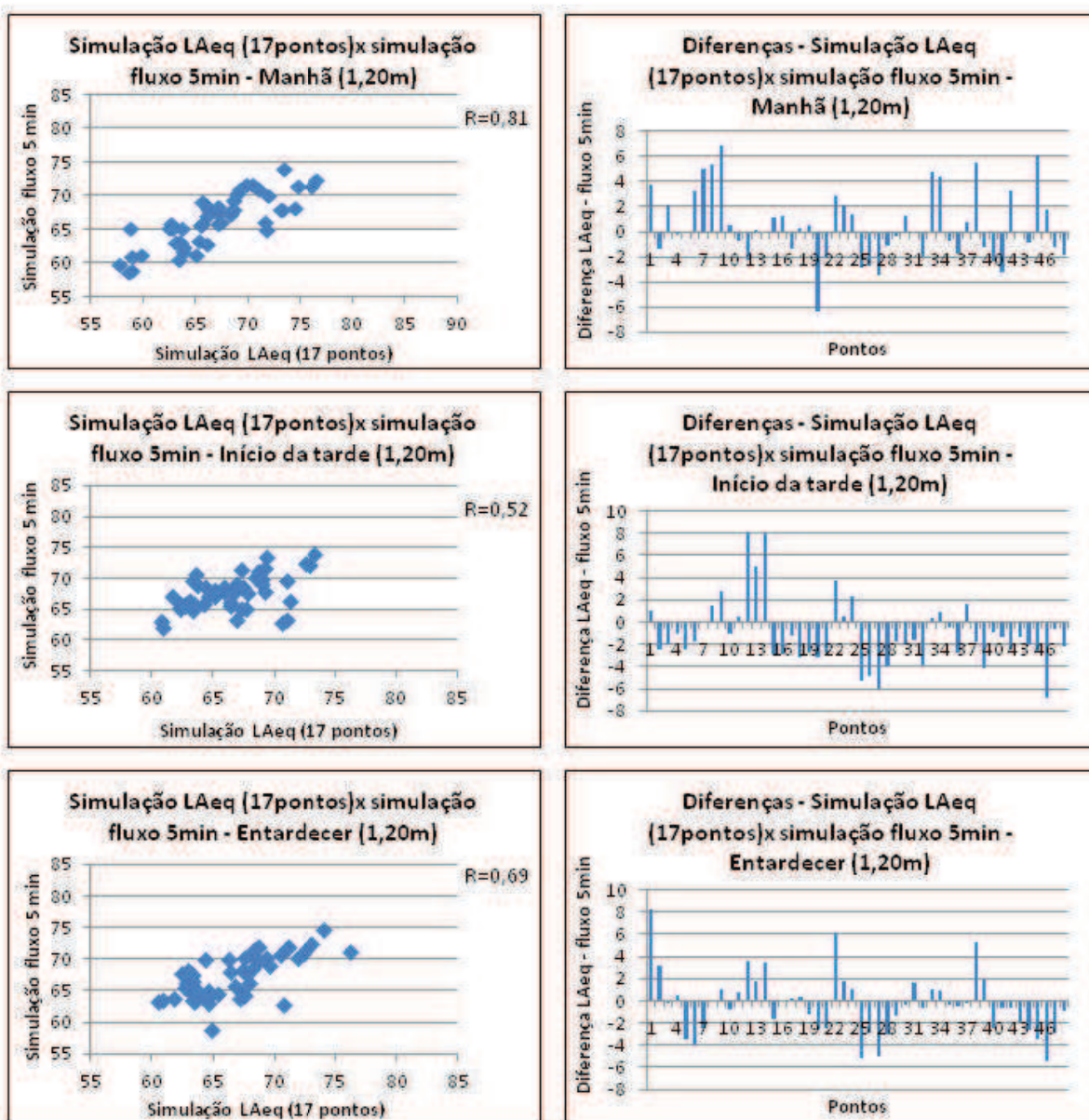




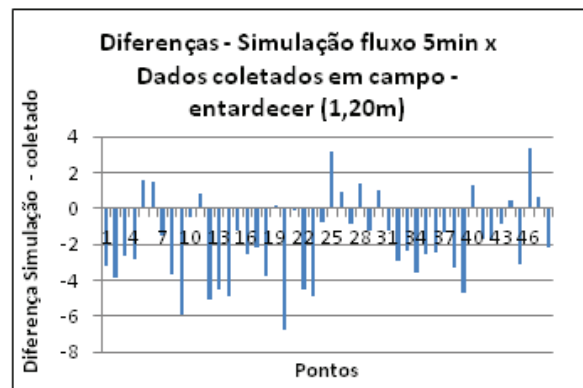
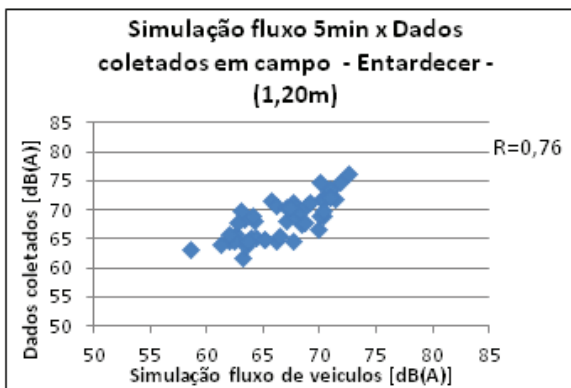
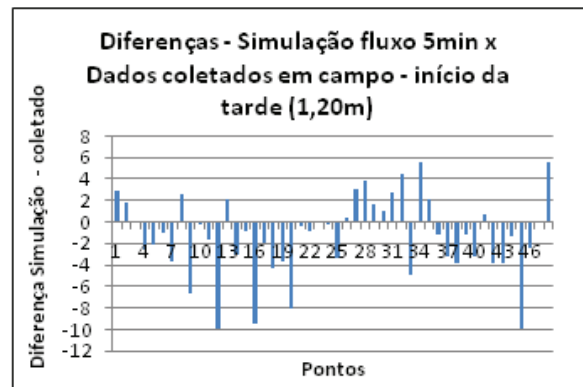
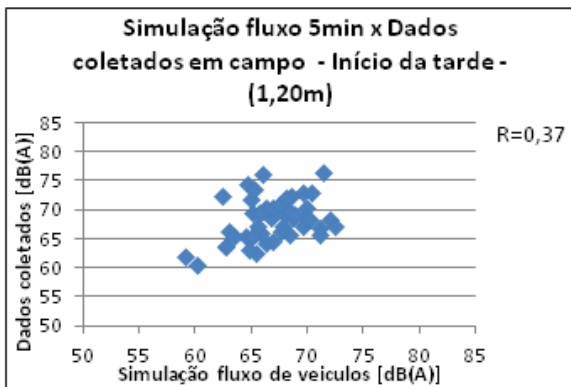
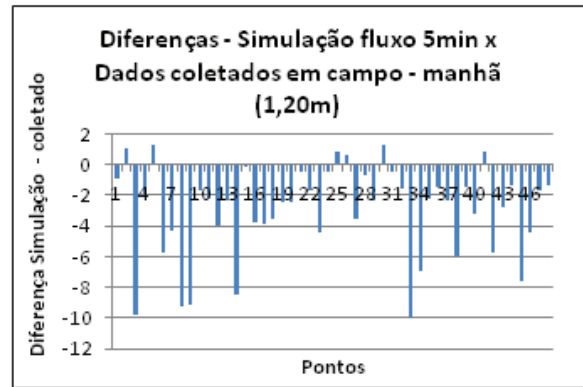
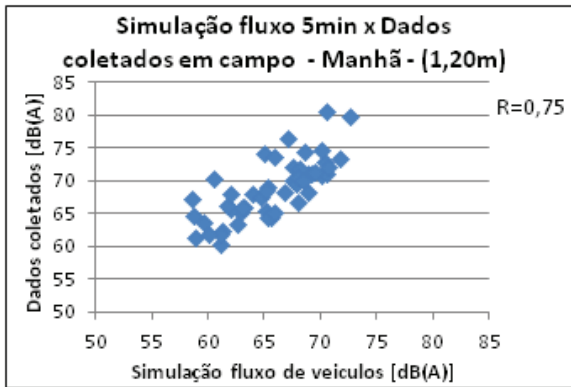
APÊNDICE P - Análise 8 de sensibilidade do modelo à variável fonte para 48 pontos de referência



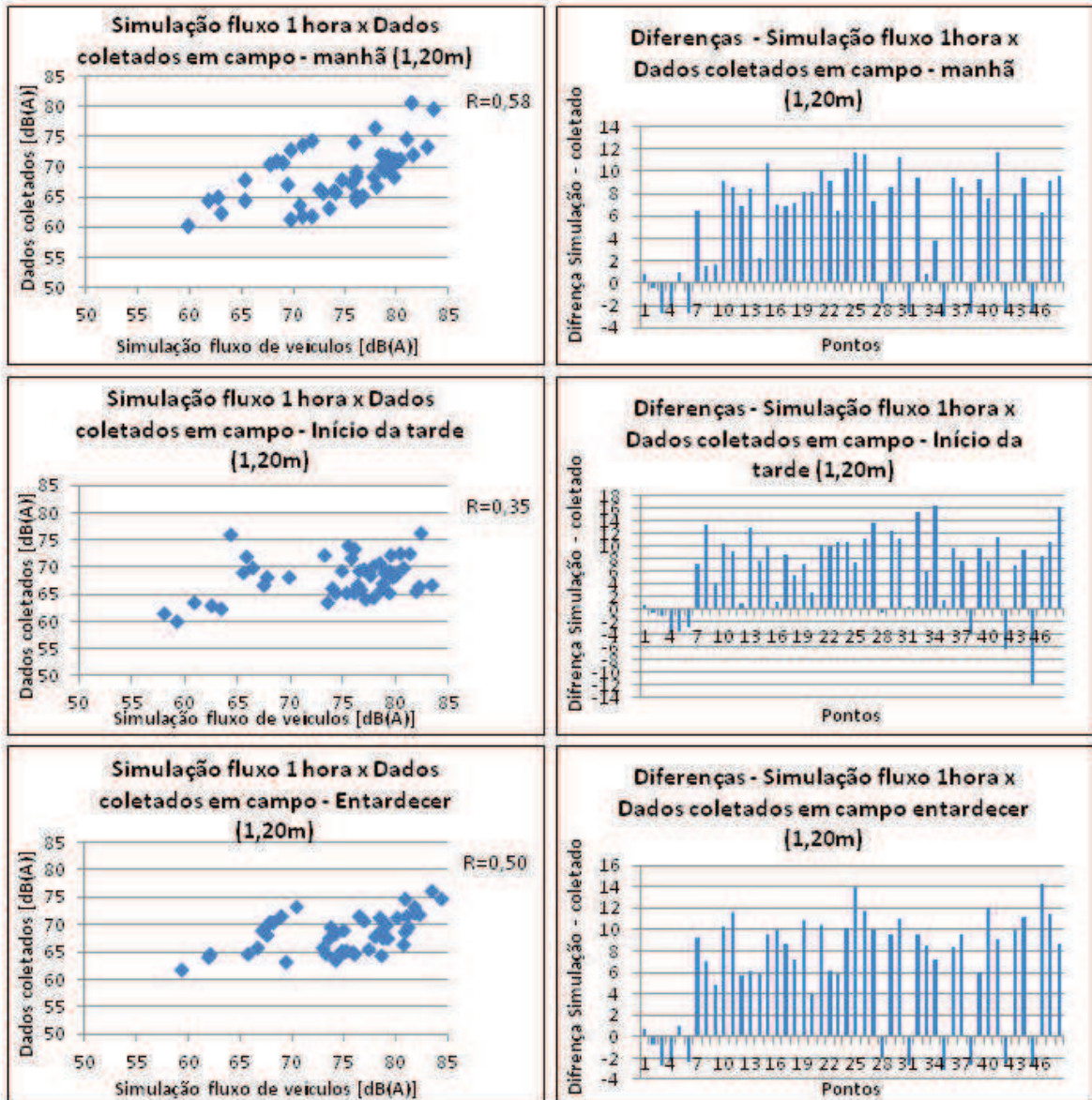
APÊNDICE Q - Análise 9 de sensibilidade do modelo para a variável fonte para 17 pontos de referência



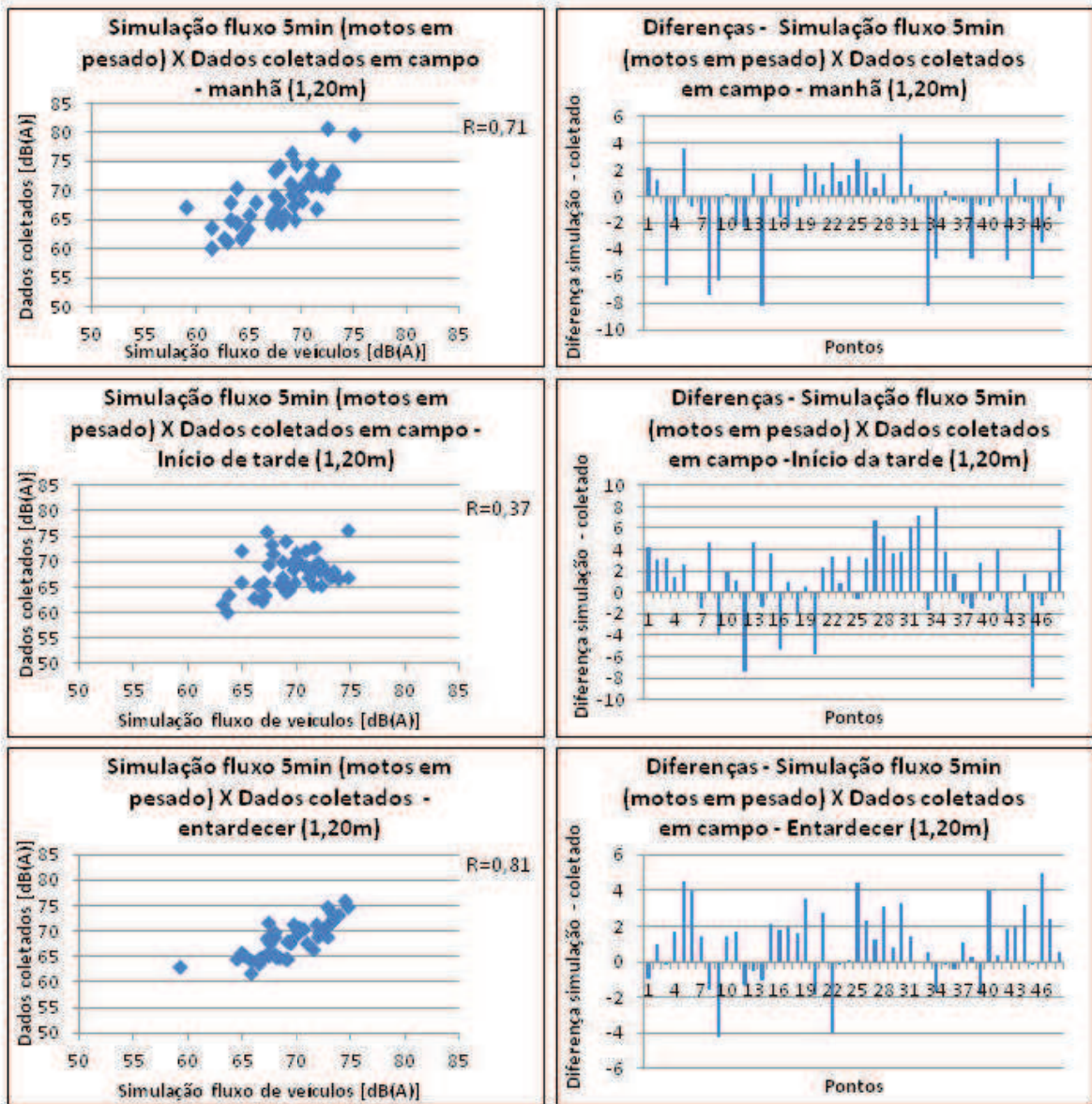
APÊNDICE R - Análise 1 de validação para entrada de fonte pelo fluxo de 5 minutos



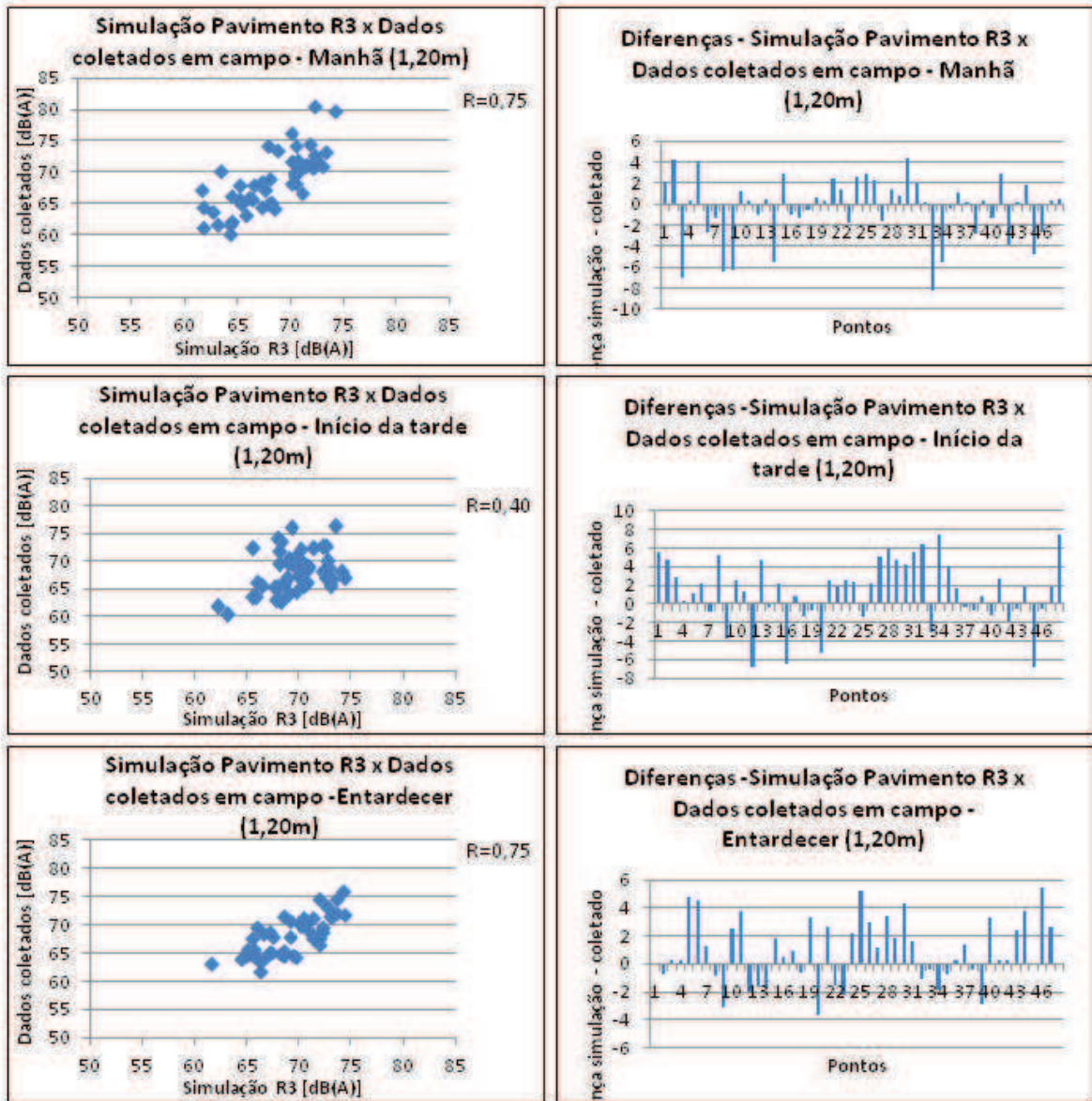
APÊNDICE S - Análise 2 de validação para entrada de fonte pelo fluxo de 1 hora



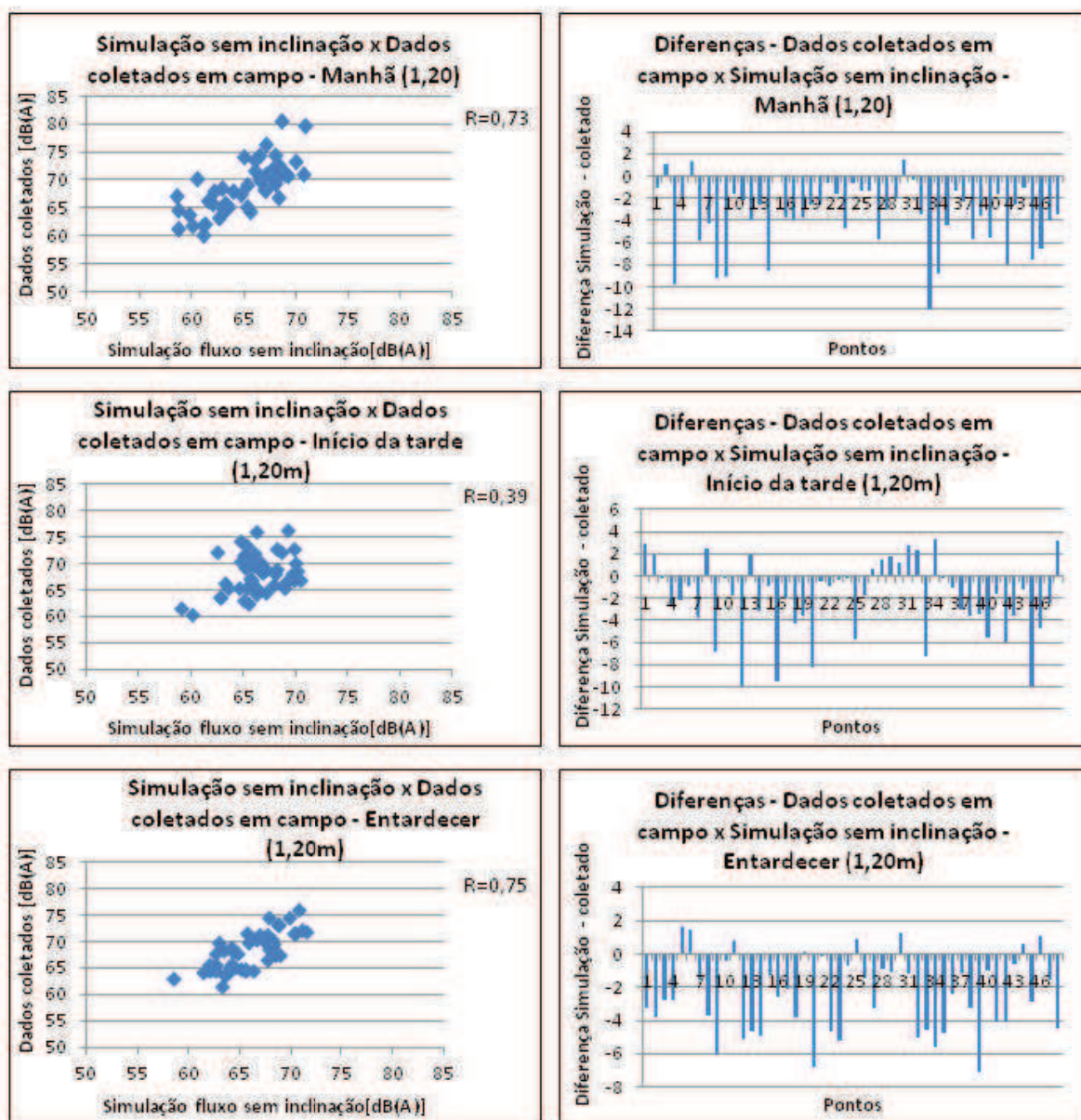
APÊNDICE T - Análise 3 de validação para entrada fonte fluxo de 5 minutos, com motocicletas na porcentagem de veículos pesados



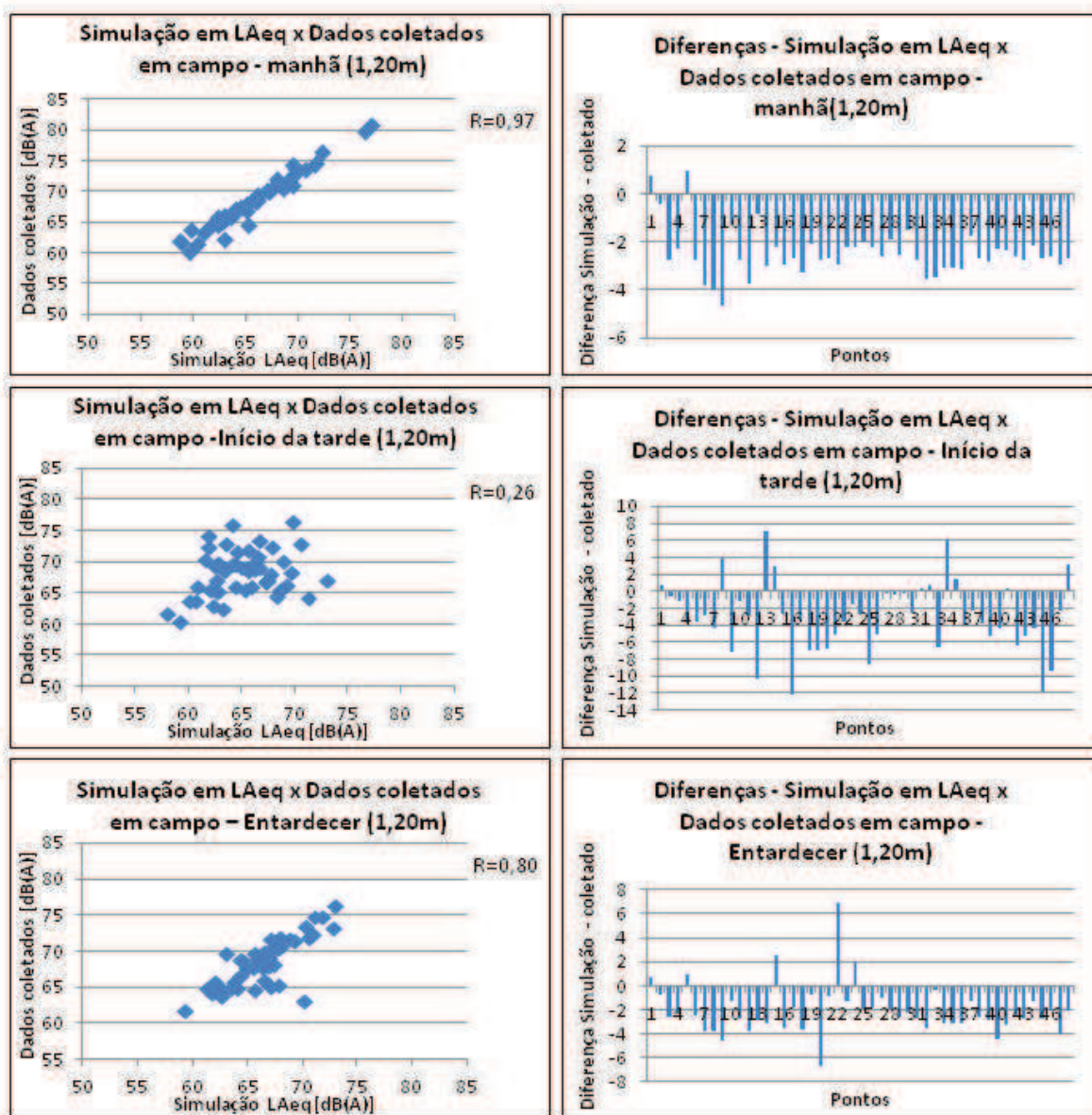
APÊNDICE U - Análise 4 de validação para entrada de fonte de fluxo de 5 minutos com pavimento R3



APÊNDICE V - Análise 5 de validação para entrada de fonte fluxo de 5 minutos, sem uso de declividade nas vias



APÊNDICE W - Análise 6 de validação para entrada de fonte de nível de pressão sonora equivalente com 48 pontos de referência



APÊNDICE X - Análise 7 de validação para entrada de fonte de nível de pressão sonora 17 pontos de referência

