

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MIRRE LILUZ MILANEZ

ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL SONORO COM A IMPLANTAÇÃO DO  
TRECHO NORTE DA LINHA VERDE EM CURITIBA

CURITIBA  
2013

MIRRE LILUZ MILANEZ

ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL SONORO COM A IMPLANTAÇÃO DO  
TRECHO NORTE DA LINHA VERDE EM CURITIBA

Dissertação, do Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Ambiental, Universidade Federal do  
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Eng – Paulo Henrique  
Trombetta Zannin.

CURITIBA  
2013

## TERMO DE APROVAÇÃO

MIRRE LILUZ MILANEZ

### ANÁLISE DO IMPACTO AMBIENTAL SONORO COM A IMPLANTAÇÃO DO TRECHO NORTE DA LINHA VERDE EM CURITIBA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

---

Prof. Dr. Paulo Henrique Trombetta Zannin  
Orientador – Departamento de Pós-Graduação em Engenharia  
Ambiental, UFPR

---

Prof. Dr. Tobias Bleninger  
Departamento de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos  
e Ambiental, UFPR

---

Prof. Dr. Bani Szeremeta  
Departamento SENAC-PR

Curitiba, 11 de novembro 2013.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me iluminar ao longo da minha vida.

Ao meu irmão Marcos, obrigada pela amizade incondicional. Com sua cumplicidade e compreensão você me fez acreditar em mim e seguir em frente.

Ao meu namorado pelo apoio e por sua exaustiva dedicação em me ajudar a ler e reescrever 15 vezes um mesmo parágrafo.

A minha mãe de coração Fátima por me incentivar a seguir a carreira acadêmica e fazer muitos cafés a fim de me incentivar sempre.

Aos meus amigos do LAICAA, Karen, Fernando, Samuel, Amanda e Melina que vivenciaram muitos desafios, medições e contagens a fim de enriquecer o trabalho dos colegas.

Obrigada aos meus amigos Paulo e Marcus por me ajudarem muito ao longo da minha dissertação.

Obrigada a minha amiga Patrícia e Thaís por dividir seus momentos comigo tornando a jornada mais leve.

Obrigada a minhas amigas agrônomas (Grupo AA) pelos nossos encontros que sempre são regados de histórias, cumplicidades e boas risadas.

Meu profundo agradecimento ao meu orientador Prof Dr Paulo Henrique Trombetta Zannin, por sua competência e apoio durante toda a minha jornada me ouvindo e me incentivando a sempre prosseguir.

Por fim, sou grata a todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha vida durante esta jornada, muitas vezes simplesmente me ouvindo.



“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.

Albert Einstein

## RESUMO

O grande volume de tráfego de veículos tanto no Brasil, como ao redor do mundo, é apontado como o principal responsável pela poluição sonora que afeta os habitantes dos centros urbanos de médio e grande porte. Sabendo-se dos danos que o ruído pode causar às pessoas, é fundamental tomar medidas preventivas para avaliar este poluidor ambiental e medidas para mitigar esse inimigo sutil e imperceptível. O presente trabalho avaliou através de medições e mapas acústicos o ambiente acústico atual na Linha Verde Norte (LVN) em Curitiba-PR. Posteriormente, foram simuladas medidas mitigadoras visando à redução dos níveis sonoros, sendo consideradas - a diminuição no fluxo atual de veículos e a redução da velocidade do tráfego -. Além disso, foram simulados os níveis sonoros que atingem as fachadas de um edifício residencial e de um hospital. Finalmente, foi realizada a predição computacional dos níveis sonoros para os próximos 20 anos. Os resultados das simulações propostas foram comparados com os limites estabelecidos pela Lei Municipal 10625 da cidade de Curitiba e pela Norma Brasileira de Avaliação do Ruído em Comunidades – NBR1051. As medições e os mapas acústicos indicaram para a situação atual, a existência de poluição sonora. As medidas mitigadoras simuladas mostraram-se insuficientes para reduzir os níveis sonoros aos valores estabelecidos pela Lei Municipal e pela Norma Brasileira.

Palavras-chave: Poluição sonora, Tráfego urbano, Rodovia.

## **ABSTRACT**

The large volume of vehicular traffic - in both Brazil and around the world - is pointed as the main responsible for the noise pollution that affects the inhabitants of large and medium-sized urban centers. Bearing in mind all the damage that noise can cause to people, it is essential to take preventive measures to assess this environmental polluter, as well as to mitigate this subtle and imperceptible enemy. The present study evaluated, through measurements and acoustic maps, the actual acoustic environment at the Northern Green Line (LVN) in Curitiba-PR. Subsequently, were simulated mitigatory measures aimed at reducing noise levels - considering the decrease in the current flow of vehicles and the reduction of average traffic speed. In addition, were simulated the sound levels that reach the frontages of a residential building and of a hospital. Finally, was performed a computational prediction of sound levels for the next 20 years. The results of the proposed simulations were compared to the limits established by Law nº 10625/02, from the city of Curitiba, and by the Brazilian "Noise Assessment in Communities" Standard - NBR1051. Measurements and acoustic maps proved, for the present situation, the existence of noise pollution. The simulated mitigatory measures proved inadequate to reduce sound levels to values set by the Municipal Act and the Brazilian Standards.

Key-words: Sound Pollution, Urban Traffic, Highway.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CURVA DE PONDERAÇÃO A.....	40
FIGURA 2 - MAPA DA EXTENSÃO DO PROJETO .....	48
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 01 AO 29 .....	48
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 01, 02, 03 E 04.....	49
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 05, 06, 07 E 08.....	49
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 09, 10, 11 E 12.....	50
FIGURA 7 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 13, 14, 15 E 16.....	50
FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 18, 19 E 20 .....	50
FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 21, 22, 23, 24 E 25.....	51
FIGURA 10 - HOSPITAL VITA, CURITIBA-PR .....	51
FIGURA 11 - EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO, CURITIBA - PR .....	52
FIGURA 12 - OBRAS NA LINHA VERDE NORTE .....	52
FIGURA 13 - TOPOGRAFIA COM CURVAS DE 5 EM 5 METROS DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADAS NO SOFTWARE PREDICTOR®.....	55
FIGURA 14 - VISUAL 3-D DAS EDIFICAÇÕES DESENHADAS .....	56
FIGURA 15 -MAPA DE RUÍDO CALCULADO NO SOFTWARE PREDICTOR®, LOCALIZADO NA LINHA VERDE .....	57
FIGURA 16 - MEDIÇÃO REALIZADA NO TRECHO NORTE DA LINHA VERDE .....	57
FIGURA 17 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DO TRÁFEGO POR HORA.....	62
FIGURA 18 - LEGENDA – ESCALA DE CORES .....	64
FIGURA 19 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 1 .....	64
FIGURA 20 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 2 .....	65
FIGURA 21 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 3 .....	65
FIGURA 22 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 4 .....	66

FIGURA 23 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 5 .....	66
FIGURA 24 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 6 .....	67
FIGURA 25 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS PESADOS.....	68
FIGURA 26 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 50% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS. ....	69
FIGURA 27 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 40% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS .....	69
FIGURA 28 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 30% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS .....	70
FIGURA 29 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 20% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS .....	70
FIGURA 30 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 10% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS .....	70
FIGURA 31 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM EXCLUSÃO DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS.....	71
FIGURA 32 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS.....	72
FIGURA 33 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 50% DO TRÁFEGO .....	72
FIGURA 34 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 40% DO TRÁFEGO .....	73
FIGURA 35 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 30% DO TRÁFEGO.....	73
FIGURA 36 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 20% DO TRÁFEGO.....	73
FIGURA 37 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 10% DO TRÁFEGO.....	74
FIGURA 38 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS.....	76
FIGURA 39 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS.....	78

FIGURA 40 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS.....	79
FIGURA 41 - PREDIÇÃO PARA O NÍVEL DE RUÍDO PARA OS PRÓXIMOS 20 ANOS .....	82
FIGURA 42 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2018 .....	83
FIGURA 43 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2023 .....	83
FIGURA 44 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2028 .....	84
FIGURA 45 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2033 .....	84
FIGURA 46 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2018 .....	85
FIGURA 47 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2023 .....	85
FIGURA 48 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2028 .....	86
FIGURA 49 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2033 .....	86
FIGURA 50 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 5 EM 2013 .....	88
FIGURA 51 - NÍVEL DE RUÍDO NA FACHADA DO HOSPITAL VITA.....	90
FIGURA 52 - NÍVEL DE RUÍDO NA FACHADA EM EDIFICAÇÃO DO TREVO DO ATUBA .....	90

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CRESCIMENTO RELATIVO DO NÚMERO DE VEÍCULOS NAS METRÓPOLES BRASILEIRAS ENTRE 2001 E 2011	TABELA 1.....	25
TABELA 2 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO PARA AMBIENTES EXTERNOS.....	TABELA 2.....	29
TABELA 3 - NÍVEIS EQUIVALENTES PERMITIDOS CONFORME AS REGIÕES E O PERÍODO DO DIA, NA CIDADE DE CURITIBA.....	TABELA 3.....	30
TABELA 4 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE ALGUMAS FONTES .....	TABELA 4.....	35
TABELA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE A PRESSÃO SONORA E O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	TABELA 5.....	36
TABELA 6 - DEFINIÇÃO DOS LOTES E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO.....	TABELA 6.....	58
TABELA 7 - NÚMERO DE VEÍCULOS NOS PONTOS DE MEDIÇÃO POR HORA.....	TABELA 7.....	60
TABELA 8 - LEQ MEDIDO E SIMULADO .....	TABELA 8.....	61
TABELA 9 - VELOCIDADE MÉDIA DAS SIMULAÇÕES.....	TABELA 9.....	63
TABELA 10 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 2, (VL = 60 KM/H E VP=50 KM/H).....	TABELA 10.....	75
TABELA 11 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 2, (VL = 40 KM/H E VP=40 KM/H).....	TABELA 11.....	75
TABELA 12 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 3, (VL = 80 KM/H E VP=70 KM/H).....	TABELA 12.....	77
TABELA 13 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 3, (VL = 40 KM/H E VP=40 KM/H).....	TABELA 13.....	77
TABELA 14 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 5, (VL = 75 KM/H E VP=65 KM/H).....	TABELA 14.....	78
TABELA 15 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 5, (VL = 40 KM/H E VP=40 KM/H).....	TABELA 15.....	79
TABELA 16 - NÚMERO DE VEÍCULOS EMPLACADOS .....	TABELA 16.....	81
TABELA 17 - VELOCIDADES E NÚMERO DE VEÍCULOS .....	TABELA 17.....	81

TABELA 18 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 5, (VL = 40 KM/H) .....	87
---	----



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO .....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
1.3 LIMITAÇÃO DO ESTUDO .....	18
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	20
2.1 IMPACTO DO RUÍDO NA SAÚDE HUMANA.....	20
2.2 POLUIÇÃO SONORA.....	22
2.3 RUÍDO GERADO PELO TRÁFEGO .....	24
2.4 ASPECTOS NORMATIVOS .....	28
2.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS .....	31
2.6 SOM E RUÍDO.....	31
2.7 CAMPO ACÚSTICO .....	32
2.8 PROPAGAÇÃO DO SOM.....	33
2.8.1 Fenômenos de propagação de ondas sonoras.....	33
2.9 VELOCIDADE DO SOM .....	34
2.10 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	34
2.11 NÍVEIS MÁXIMOS E MÍNIMOS DE RUÍDO.....	37
2.12 RUÍDO DE FUNDO.....	37
2.12.1 Adição de níveis de pressão sonora.....	38
2.12.2 Subtração do ruído de fundo .....	39
2.13 CURVA DE PONDERAÇÃO SONORA .....	39
2.14 EMISSÃO E IMISSÃO SONORA.....	40
2.15 FONTES DE RUÍDO NO AMBIENTE URBANO .....	40
2.15.1 Classificação das fontes de ruído conforme suas características.....	41
2.16 MAPEAMENTO ACÚSTICO .....	42
2.17 ISO 9613-1/2 ROAD .....	43
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	47
3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: A LINHA VERDE .....	47
3.2 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AVALIADOS.....	48
3.3 PROCEDIMENTO UTILIZADO PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS .....	52

<b>4 ANÁLISE DE RESULTADOS</b> .....	58
4.1 ANÁLISE I – CALIBRAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO DOS DADOS MEDIDOS COM OS SIMULADOS.....	59
4.2 ANÁLISE II – VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES ATUAIS DA LVN.....	62
4.3 ANÁLISE III – AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FLUXO DO TRÁFEGO SOMENTE DE VEÍCULOS PESADOS .....	67
4.4 ANÁLISE IV – AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FLUXO DE TRAFEGO (VEÍCULOS LEVES E PESADOS).....	71
4.5 ANÁLISE V – AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FLUXO DE VEÍCULOS PESADOS E A DIMINUIÇÃO DA VELOCIDADE DE TRÁFEGO NOS LOTES 2, 3 E 5 .....	74
4.6 ANÁLISE VI – PREDIÇÕES PARA OS PRÓXIMOS 20 ANOS .....	80
4.7 ANÁLISE VII – ANÁLISE HIPOTÉTICA DE UMA CONDIÇÃO “MELHORADA” DE TRÁFEGO PARA O LOTE 5 .....	87
4.8 ANÁLISE VIII – RUÍDO NA FACHADA.....	89
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	92
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	94
<b>APÊNDICES</b> .....	104

## 1 INTRODUÇÃO

Ao final da Segunda Guerra Mundial, os países desenvolvidos passaram por um rápido crescimento urbano; e após os anos 60, a expansão das cidades alcançou níveis inesperados. Isso trouxe muitos tipos de degradação ambiental, destacando-se, na sociedade moderna, a poluição sonora ambiental. A partir desse momento os níveis de ruído ambiental tornaram-se preocupação para muitos pesquisadores.

Atualmente, a poluição sonora é considerada uma das principais formas de poluição ambiental, sendo responsável pela baixa qualidade de vida nos grandes centros urbanos. O crescimento demográfico da população urbana está diretamente ligado ao aumento deste tipo de poluição.

O grande volume de tráfego, característico nas grandes cidades, pode ser responsável por uma grande parcela da poluição sonora, afetando as pessoas que trabalham e transitam nesses locais diariamente. Sabendo-se dos danos que esse ruído de tráfego pode causar às pessoas, é fundamental tomar medidas preventivas para mitigar esse inimigo sutil e imperceptível já, desenvolvendo projetos que venham a controlar e prevenir com maior eficiência o ruído em áreas urbanas, principalmente nas proximidades de grandes rodovias.

O ruído pode ser encontrado em diferentes ambientes, como no dia a dia do trabalho, na prática de esportes, nos diferentes caminhos percorridos pelo indivíduo durante o dia, no lazer e muitas vezes na própria casa. O nível de ruído urbano aumenta na razão de 2 dB(A) por ano em várias cidades do mundo (AZEVEDO, 2004).

Com uma população de 1.751.907 (Censo 2010) habitantes, a cidade de Curitiba-PR está entre as 10 cidades mais populosas do Brasil, com estimativa, segundo o IBGE- julho 2012, chegando a 1.776.761 de habitantes.

Com o crescimento do número de veículos de transporte rodoviário que passam por Curitiba, todos os dias, com destino a São Paulo e aos estados do Sul do Brasil, nota-se um aumento significativo desse meio de locomoção para uso predominantemente urbano. O boletim de setembro de 2012, da divisão de Estatística do DETRAN-PR, aponta que a frota de veículos para a cidade de Curitiba alcança o valor de 1.286.859 automóveis circulando. Como consequência do

crescimento populacional e do número de veículos temos um poluente ambiental indesejável: o ruído urbano.

Griffiths e Langdon (1986) realizaram uma pesquisa que aponta o ruído de tráfego rodoviário como a maior causa de incômodo para os moradores em suas residências, locais de trabalhos e também nas ruas de Londres. Fidel (1978) mostra em sua pesquisa o incômodo provocado pelo ruído de tráfego nos Estados Unidos, em uma porcentagem de 86% das pessoas entrevistadas. Uma pesquisa por meio de questionários respondidos pela própria população de Curitiba aponta o ruído de tráfego como a principal fonte de incômodo, com 73%, seguido pelo segundo maior incômodo, o ruído gerado pelos vizinhos, com 38% (ZANNIN,2002).

Segundo a OMS (2003), o crescimento populacional acentuado das grandes cidades está vinculado à falta de planejamento adequado, colocando a poluição sonora como uma das maiores preocupações da vida moderna. O limite de ruídos tolerável ao ouvido humano é de 65 Db (A), e valores acima desse nível causam stress ao nosso organismo, aumentando o risco de doenças. Muitas vezes as pessoas não conhecem os efeitos gerados pela exposição a níveis de pressão sonora excessivos e por isso não se preocupam com eles. A poluição sonora incomoda a população, degrada a qualidade de vida e foi considerada problema de saúde pública desde o Congresso Mundial sobre Poluição Sonora, na Suécia, em 1989 (FERNANDES, 2002).

Quick e Lapertosa (1981) afirmam que "o problema do ruído dever ser encarado seriamente, não só no ambiente industrial, mas também na comunidade em geral, pois ele afeta as pessoas na sua individualidade e na coletividade, alterando seu comportamento e relacionamento". O ruído urbano ou ambiental é denominado agente caracterizador da poluição sonora urbana, composto por várias parcelas de ruídos secundários e atividades diversas. Uma cuidadosa avaliação qualitativa faz-se necessária ao ruído urbano, pois ele pode acarretar alterações físico-psicológicas nos seres humanos, desencadeando distúrbios diversos os quais podem ser considerados problema de saúde pública. (PAZ, 2004).

Devido ao aumento populacional que vem acontecendo em Curitiba, nota-se um intenso espalhamento urbano (CALIXTO, 2002). Esse espalhamento faz com que áreas antes desocupadas tornem-se bairros com densas concentrações demográficas e, com isso, rodovias que serviam apenas para o tráfego de passagem, hoje são utilizadas como vias de acesso a moradia, trabalho e lazer.

A linha Verde Norte é um trecho de 8 km e irá ligar onze bairros da região Norte de Curitiba, estendendo-se do bairro Jardim Botânico ao Bairro Atuba. Esse novo trecho vai aumentar o transporte da região, a segurança e ainda permitir o desenvolvimento econômico desses bairros, com canaletas exclusivas para os ônibus, pistas marginais, iluminação renovada, ciclovias, calçadas, implantação de oito estações para embarque e desembarque de passageiros, ampliação de dois viadutos e ainda construção de sete trincheiras.

Uma variação em qualquer parâmetro ou variável determinante no processo de emissão de ruídos, como a modificação de uma rodovia, possui alguns aspectos tecnológicos que necessitam ser avaliados em função dos efeitos que podem provocar no meio. Para isso a utilização de ferramentas científicas torna-se fundamental a fim mensurar a incidência da poluição sonora na região avaliada.

Um agente causador do impacto ambiental negativo é o ruído originado pelo tráfego de veículos. Por essa razão, o estudo do impacto ambiental sonoro proveniente do tráfego, a partir de avaliações quantitativas, justifica-se por contribuir com a melhoria do planejamento urbano, adicionando medidas de controle desse impacto no planejamento de obras. Este planejamento está ligado ao aspecto econômico, pois as avaliações quantitativas permitem um desenvolvimento de regulamentações e procedimentos adaptados para a realidade de cada região, representando uma medida muito menos onerosa que a corretiva.

Um aspecto social a ser considerado é a diminuição da qualidade de vida da população exposta ao ruído ambiental, uma vez que algumas doenças e distúrbios são desencadeados pelo ruído urbano. Assim, a problemática deve ser avaliada de maneira cuidadosa antes de se tornar um caso de saúde pública. Segundo o IPPUC (2013), até 2020 a região terá 20 mil novos moradores em 16.215 domicílios. O perfil dos novos moradores contempla casais jovens, na faixa dos 30 anos, com renda média R\$ 2,1 mil. O maior crescimento é esperado no bairro do Xaxim.

De posse desses dados, é de suma importância a realização de um estudo sobre a poluição sonora para os futuros moradores, bem como para que as construtoras interessadas em vender seus imóveis na região consigam ter acesso a esse tipo de informação para oferecerem empreendimentos com melhor qualidade acústica.

## 1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

A presente pesquisa visa avaliar o ambiente acústico da região Linha Verde Norte atual, áreas em obras, e fazer projeções para o futuro dessas regiões a partir da utilização de simulações computacionais de predição acústica. O principal nível sonoro utilizado será o nível sonoro equivalente (Leq). As projeções realizadas a partir da diminuição dos veículos pesados visam avaliar o quanto essa categoria influencia na emissão de ruído.

Algumas medidas mitigadoras serão sugeridas para situações identificadas como negativas, a fim de amenizar o impacto do ruído no dia a dia das pessoas que vivem nessas regiões.

Com a avaliação da poluição sonora ambiental gerada pelo tráfego, nos trechos de obras, pretende-se qualificar a região próxima à Linha Verde quantitativa e qualitativamente, contribuindo para a cidade de Curitiba e seus moradores com um parâmetro científico para avaliação e comparação dos parâmetros atuais e posteriores. O ponto para o início da medição encontra-se próximo ao viaduto da BR-277 e para o término, próximo ao trevo do Atuba.

Os mapas de ruído serão desenvolvidos, considerando os principais fatores que determinam o ruído de tráfego rodoviário: fluxo de veículos pesados, leves e motos, velocidade média do tráfego desses veículos e as condições da pista. Para a geração de mapas acústicos será utilizado o software *Predictor*®, que permite estudar o impacto no ambiente sonoro e elaborar simulações futuras, como o surgimento de novas construções via de acesso e, com isso, propor melhorias necessárias ao cumprimento da lei vigente em Curitiba, lei n.º 10.625 de 2002.

Medições com diferentes tempos de duração serão realizadas com a finalidade de comprovar qual o tempo necessário para um resultado preciso.

Grandes níveis de poluição sonora podem ser minimizados, aplicando-se medidas de controle de ruído, desenvolvendo produtos específicos, como a fabricação de máquinas menos ruidosas ou ainda fazendo a identificação e análise das fontes de ruído, conseguindo até a prevenção da redução do ruído por meio de programas de simulação. (ENIZ, 2004).

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✚ Determinação dos locais da Linha Verde Norte que se apresentam acusticamente poluídos, quando comparados com a Lei municipal de Curitiba nº 10.625 de 2002,
- ✚ Análise dos níveis sonoros presentes em áreas com obras,
- ✚ A realização de projeções futuras; através de previsões computacionais onde se coloca em consideração o aumento do tráfego nos próximos 20 anos e a respectiva poluição sonora ocasionada com esta mudança,
- ✚ A realização de projeções a partir da diminuição do tráfego de veículos e com medida de controle de velocidade tendo como objetivo avaliar se estas medidas irão minimizar a emissão de ruído,
- ✚ Avaliação do nível de poluição sonora que chega às fachadas dos locais construídos desta rodovia, através de uma projeção computacional 3D da construção que se deseja avaliar. Foi escolhido um empreendimento imobiliário e um hospital.
- ✚ Propor alternativas para a conservação da qualidade ambiental.

## 1.3 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

A maioria dos procedimentos de avaliação acústica para ruído ambiental, ou suas parcelas, é realizada por avaliação *in situ*, porém neste tipo de sistema surgem algumas limitações, pois suas medições tornam-se onerosas em relação aos custos de execução.

A avaliação de uma grande avenida realizada pelo método de avaliação *in situ* pode ser prejudicada e muitas vezes tornam-se dependente de condições meteorológicas. Outro fator prejudicial é a inexistência, em grandes trechos, de recuos ideais de edificações e até mesmo de acostamento para a efetivação de medições.

Outra limitação da pesquisa é que sempre são necessárias três pessoas, no mínimo, para realizar a contagem de veículos nessa grande avenida, já que é preciso proceder a contagem grande fluxo de carros e categorias diferentes de veículos analisados bem como realizar as medições.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação foi dividida da seguinte maneira:

No capítulo 1, Introdução, apresenta-se uma breve explicação sobre o tema abordado e justificativas dessa dissertação, bem como o objetivo geral que deve ser alcançado pela autora no desenvolvimento do tema.

No capítulo 2, Revisão Bibliográfica, apresenta-se um panorama relacionado ao tema ambiental referente ao ruído de tráfego e seus respectivos aspectos normativos. Descrevem-se os principais conceitos teóricos necessários para melhor entendimento do trabalho desenvolvido

No capítulo 3, Materiais e Métodos, descreve-se a metodologia utilizada para realização da pesquisa em suas diferentes fases.

No capítulo 4, Análise de Resultados, realiza-se uma análise dos resultados encontrados ao longo da pesquisa e as discussões sobre o assunto e dados obtidos.

No capítulo 5, Conclusão, estão as principais conclusões da pesquisa realizada a partir de um trabalho de campo, cálculos e suas respectivas medições, além de serem sugeridas algumas recomendações frente aos problemas abordados nessa dissertação.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, será apresentada uma revisão bibliográfica dos principais itens relacionados ao estudo do nível de ruído emitido pelo tráfego urbano, como composição, normas, legislações, a relação do ruído com a saúde, formas de avaliação e a presença do ruído durante a execução de obras rodoviárias, para apresentar um panorama sobre o tema ambiental referente ao ruído de tráfego.

### 2.1 IMPACTO DO RUÍDO NA SAÚDE HUMANA

Conforme a natureza da exposição aos ruídos, o processo de perda auditiva pode ser reversível ou irreversível. Essa provavelmente seja a consequência mais conhecida sobre a exposição prolongada ao ruído (DINIZ, 2003).

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2011), um ruído de até 50 dB(A) pode perturbar, mas o organismo consegue se adaptar a ele com facilidade. Com um nível de 55 dB(A) pode haver a ocorrência de estresse, e o nível de 70 dB(A) é tido como o nível do desgaste do organismo, aumentando os riscos de infecções entre outras patologias. Com um ruído de 80 dB(A) ocorre a liberação de endorfinas, o que causa sensação de prazer momentânea e a 100 dB(A) pode haver perda da audição.

O ruído excessivo prejudica gravemente a saúde humana, interferindo em atividades diárias como escola, trabalho, lazer e ainda o sono, podendo causar problemas cardiovasculares e psicofisiológicos, reduzir o desempenho e ainda provocar mudanças no comportamento social (WHO, 2012). Para realizar a mesma tarefa, um indivíduo, na presença do ruído perturbador intenso, despende aproximadamente 20% a mais de energia (SILVA, 2002).

Babisch *et al.* (2009) estudaram o problema de saúde que o ruído pode ocasionar. Eles avaliaram 1048 crianças que se encontravam na faixa etária entre 8 e 14 anos. As crianças foram submetidas a entrevistas e tiveram sua pressão arterial aferida. Foram levadas em consideração as atividades realizadas por elas, as condições das edificações e alguns fatores ambientais a respeito do lugar em que

residiam. Por meio de medições dos níveis de poluição sonora do tráfego de veículos a que essas crianças ficavam expostas, concluiu-se que a pressão arterial das crianças poderia estar sendo afetada pelo ruído de tráfego que atingia a edificação em que moravam.

Belojevic *et al.* (1997) afirmaram, em estudo por meio de pesquisa social e de mensuração dos níveis de pressão sonora, que o risco é alto para inúmeras conseqüências subjetivas do ruído, como: efeitos comportamentais, distúrbios do sono e efeitos psicológicos. Segundo essa pesquisa, a população que vive exposta a níveis de pressão sonora acima de 65 dB(A) enquadra-se na categoria de alto risco.

Alterações tipicamente vestibulares, descritas como vertigens, são observadas em indivíduos durante a exposição ao ruído ou mesmo após essa exposição, podendo ou não vir acompanhadas de enjôos, ânsia de vômito e suores frios, dificultando o equilíbrio, e podendo provocar desmaios e nistagmos (CARMO, 1999).

Diferentes órgãos do corpo humano podem ser afetados indiretamente pelo ruído, seja por ativação ou inibição do sistema nervoso central e periférico do indivíduo (MEDEIROS, 1999). Quando o corpo humano é exposto a níveis elevados de pressão sonora, pode apresentar diferentes sintomas como: aumento do batimento cardíaco, dilatação das pupilas, impotência, alteração nos ciclos menstruais, diminuição da concentração, irritabilidade, ansiedade, contração dos vasos sanguíneos, cansaço, produção de adrenalina, nervosismo, insônia, entre outros (BRITO, 1999).

Para classificar os efeitos danosos sobre o indivíduo, é comum encontrar na literatura os efeitos indiretos ou também conhecidos como não auditivos que, em geral, atuam sobre as funções orgânicas e, numa segunda classificação, os que produzem danos auditivos e diretos (CARMO, 1999). Como exemplo de um sintoma direto está o deslocamento temporário do limiar auditivo, que é uma surdez temporária devido à fadiga auditiva que ocorre após uma exposição prolongada a níveis elevados de ruído. Sua recuperação é possível após um período de descanso. Um ruído de 140 dB(A) já é suficiente para romper um tímpano e o valor próximo a 130 dB(A) representa o limiar da dor (BISTAFA, 2006).

O aumento da poluição sonora nas grandes cidades está se tornando insustentável e precisa ser reduzido ou contido, já que o problema acarretado

ultrapassa uma fonte de aborrecimento e torna-se um problema de saúde pública (PINTO & MARDONES 2008).

## 2.2 POLUIÇÃO SONORA

Milhões de pessoas já estão sendo afetadas por ruído ambiental ou urbano, estimativa atual para comunidades em todo o mundo (WHO, 2011). Muitas vezes ele ocorre de forma acelerada, devido ao aumento rápido das cidades, ocasionando danos à saúde (EILLEN, 2007).

Em diversos países, a avaliação do impacto sonoro ambiental já vem sendo realizada com certa frequência, seja ela em caráter de avaliação ou prevenção, pois o impacto de um novo empreendimento ou uma obra em rodovia pode ocasionar o aumento dos níveis sonoros permitidos (BRÜEL & KJÆR, 2000). Essa avaliação é uma grande estratégia para elaboração de mapas de ruídos para prever situações como essas.

Nos países da União Européia, uma grande parte da população, aproximadamente 40%, está exposta a níveis de ruído de tráfego excedentes a 55 dB (A), e em torno de 20% a níveis acima de 65 dB (A) (BERGLUND *et al.*, 1999). Segundo a Organização Mundial de Saúde, esses níveis de poluição atingem um grande número de pessoas em todo o mundo, sendo considerado um problema mundial, pois está presente na maioria das grandes cidades. Em grandes metrópoles localizadas na América Latina, a população convive com altos níveis de exposição auditiva, sendo um problema preocupante já que o tráfego é responsável pela maior parte da emissão do ruído ambiental (BERGLUND *et al.*, 1999).

Barbosa (1992), num estudo sobre Curitiba, comprova que a capital ecológica não é ecológica em acústica. Esse estudo avaliou o ruído urbano em Curitiba por meio de diversas medições de intensidade sonora em 500 pontos, nos principais cruzamentos da cidade, em terminais de ônibus, em linhas de trens, regiões sob o trajeto de aviões.

No ano de 2000, as medições foram refeitas por Diniz em seu trabalho de conclusão de curso. Os resultados, quando comparados com o estudo anterior, mostraram que a cidade tinha diminuído sua poluição sonora pela substituição

quase que completa dos automóveis antigos por mais modernos. Outro fator que contribuiu para essa redução foi à presença de radares para o controle da velocidade de tráfego. Ainda segundo o mesmo autor, quase todos os pontos avaliados ultrapassaram os valores de 65 dB(A).

Barbosa (1992) e Diniz (2000), em seus trabalhos, afirmaram que o veículo automotor é o principal responsável pelo nível de ruído elevado na capital paranaense. Apesar de esse nível sonoro ter diminuído ao longo dos anos, ainda se encontra acima dos limites estabelecidos pela lei 10625/2002 em vigor do município.

Arana *et al.* (1997) estudaram, na cidade de Pamplona – Espanha, a exposição da população ao ruído. Escolheram cinco regiões diferentes da cidade, em áreas residenciais, e realizaram a mensuração dos níveis de pressão sonora, concluindo que quase 60% das localizações analisadas no período diurno ultrapassavam valores de 65 dB(A), expondo a população a altos níveis de ruído.

Zannin *et al.* (2002) concluíram, por meio de uma pesquisa qualitativa, que o tráfego de veículos é o grande responsável pelo incômodo causado à população, fator que apareceu em 73% das respostas. Em segundo lugar ficou o incômodo causado por vizinhos, 38% das respostas. Esses resultados foram obtidos por meio da aplicação de questionários à população de Curitiba. Esse estudo ainda apontou obras, casas noturnas, igrejas, brinquedos, aparelhos domésticos, animais e sirenes como agentes produtores de ruído.

Paz (2004) realizou medições de nível sonoro,  $L_{eq}$ ,  $L_{10}$ ,  $L_{50}$  e  $L_{90}$ , na área urbana da rodovia BR-476 e, por meio de modelagem matemática, avaliou os principais níveis que afetavam a área. Esses modelos foram separados em oito grupos válidos de modelos matemáticos validados estatisticamente e, com isso, o autor concluiu que a região era poluída acusticamente.

Calixto (2002) estudou o problema do ruído urbano gerado pelo tráfego de veículos na rodovia BR-116, atual Linha Verde, e na BR-277, que passam na área urbana de Curitiba. Com os resultados obtidos por medições, foram propostos modelos matemáticos capazes de estimar os níveis de pressão sonora emitida por essas rodovias. Os resultados também foram comparados com a norma alemã RLS-90 e concluiu-se que essa norma pode ser aplicada para a estimativa do ruído de tráfego em condições brasileiras de tráfego rodoviário. Os resultados obtidos com a metodologia da norma alemã apresentaram as mesmas conclusões: a região analisada se encontrava acusticamente poluída.

A proteção contra o ruído faz parte da política da comunidade europeia, sendo uma de suas diretrizes, publicada em 2002, a produção de mapas sonoros para todos os estados-membros da comunidade, nos centros urbanos com mais de 250 mil habitantes, por meio da medição e identificação dos níveis sonoros das cidades. Com essa ferramenta é possível prever e reduzir o ruído ambiental que pode afetar a saúde humana (DIRECTIVE, 2002).

Uma vez que a população tenha suas necessidades vitais preenchidas, elas começam a busca por uma qualidade de vida melhor, e o conforto acústico está entre os itens mais apreciados. Segundo Heinrich Hermann Robert Koch: "O dia virá quando as pessoas começarão a lutar contra o ruído como o fazem contra a cólera e pragas" (GONZÁLEZ, 2000).

### 2.3 RUÍDO GERADO PELO TRÁFEGO

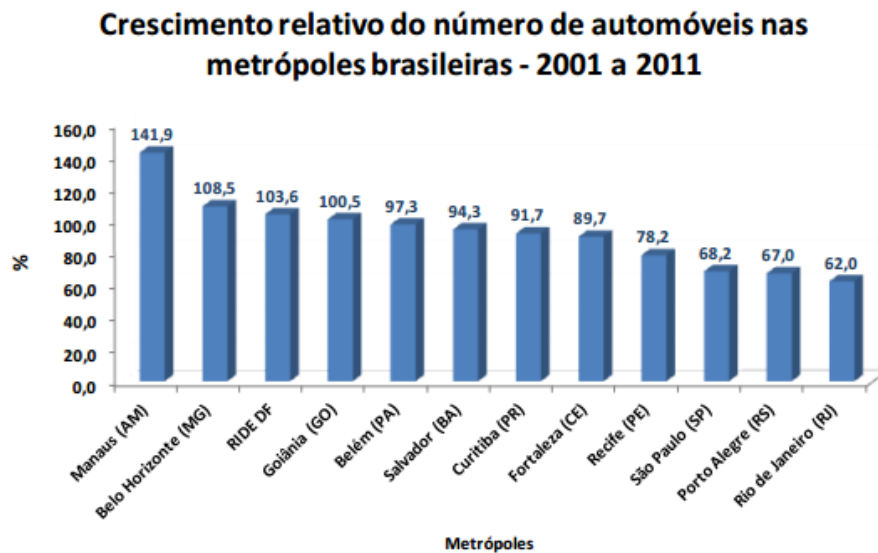
Hoje a facilidade de se comprar um carro, por financiamento e até mesmo por causa da diminuição de impostos feita pelo governo para incentivar o consumo, tem aumentado e muito o tráfego de veículos em grandes cidades, tornando-se a principal fonte de ruído ambiental que atinge as grandes metrópoles brasileiras nos últimos anos. A proximidade de uma crise de mobilidade urbana, vivenciada principalmente pela escolha do transporte individual em detrimento das formas coletivas de deslocamento, ocasiona a redução da taxa de motorização (TM) e o número de pessoas por veículo.

Nagem (2004), em estudo realizado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), concluiu que a principal fonte de ruído era o tráfego de veículos e que os níveis de pressão sonora estavam acima do limite estabelecido pelas normas de conforto.

Maia (2003) realizou um estudo em Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, e notou, por meio de medições de pressão sonora, uma divergência entre os valores reais dos níveis de pressão sonora que incidiam nas edificações avaliadas com os níveis permitidos pelas legislações vigentes. Esse estudo mostrou que o resultado das medições tinha uma relação direta com o número de veículos presentes no momento das medições.

A média de crescimento, entre doze metrópoles nacionais, no número de automóveis, chega a 77,8%, conforme aponta o Levantamento do Observatório das Metrópoles, realizado com dados obtidos pelo Departamento Nacional de Trânsito (Denatran), sobre o aumento do número de automóveis e motocicletas nas metrópoles brasileiras. O levantamento ainda revela que o número de motos na capital paranaense triplicou na região, mas não atingiu a média nacional. Essa pesquisa revelou que entre os anos de 2001 e 2011 a frota de carros na região metropolitana de Curitiba atingiu 1,5 milhões de automóveis, alcançando o sétimo crescimento mais alto do país com 91,7%, como demonstra a TABELA 1.

TABELA 1 - CRESCIMENTO RELATIVO DO NÚMERO DE VEÍCULOS NAS METRÓPOLES BRASILEIRAS ENTRE 2001 E 2011 TABELA 1.



FONTE: OBSERVATÓRIO DAS METRÓPOLES - INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2012.

Muitos são os autores que utilizam modelo para prever o nível de ruído ambiental em função das variáveis fundamentais, pelo fato de o ruído de tráfego ser uma das principais fontes da poluição ambiental nas grandes cidades (DE DONATO *et al*, 2001; JONG-SAN TSAY *et al*, 2003; SUBRAMANI *et al*, 2012).

Cerca de metade da população da União Européia vive em lugares que não asseguram conforto acústico aos residentes, pois 40% está exposta a ruído de

tráfego rodoviário com um nível equivalente de pressão sonora superior a 55 dB(A) durante o dia, e 20% estão expostos a níveis superiores a 65 dB (A) (WHO, 2011).

Atualmente a poluição sonora é considerada uma das principais formas de poluição ambiental, com consequências negativas ao meio ambiente e à qualidade de vida das pessoas (BERGLUND *et al.*, 1999; RAMALINGESWARA RAO & SESHAGIRI RAO, 1992; ROBINSON, 1971). Com o desenvolvimento das cidades ocorre o distanciamento entre o trabalho e moradia, ou até mesmo em busca de lazer, obrigando as pessoas a se deslocarem, gerando um fluxo de veículos intenso (NAGEM, 2004). Além disso, existem as estruturas do sistema viário cada vez mais presente nos centros urbanos, elevando ainda mais a exposição ao ruído ambiental nessas regiões (VALADARES, 1997).

O ruído de tráfego de veículos, em termos de duração, é considerado permanente e não pontual, pois não se limita a uma mesma área (BROWN, 1994). Isso é o que mais contribui para o aumento do nível de ruído nos grandes centros (ZANNIN *et al.*, 2002b).

Nos dias de hoje, um problema urbano comum em várias capitais brasileiras é o ruído de tráfego de rodovias, decorrente do rápido processo de ocupação que ocorre ao longo das estradas, em função do grande crescimento populacional (GERGES, 2004; SATTLER, 1999; BROWN, 1994). Como muitas vezes ocorre de forma desordenada, gera um aumento no número de fontes sonoras, originados pela falta de planejamento urbano (MASCHKE, 1999).

O desenfreado aumento no tráfego conduz a situações críticas como a da cidade de Taipei, capital de Taiwan, onde as reclamações referentes à poluição do ar já são menores se comparadas à redução da poluição sonora (TSAI *et al.*, 2009). Uma pessoa exposta a níveis sonoros de 80 dB(A), valor que pode ser encontrado em uma rodovia de tráfego intenso (GOLEBIEWSKI *et al.*, 2003), apresenta desgaste no seu organismo (WHO, 2003). Avaliando esses níveis, qualquer medida de intervenção que provoque diferença em algum parâmetro determinante na geração de níveis de emissão sonora, em uma rodovia, deve ter uma avaliação objetiva e subjetiva, devido aos efeitos que essa ação consegue desencadear ao meio ambiente (WTEZEL *et al.*, 1999).

Os níveis de ruído que incidem nas fachadas das moradias já são motivo de grande preocupação em países desenvolvidos, como a Austrália, que possui um grande número de sua população concentrada nas grandes cidades, a fim de

realizarem medidas corretivas ou ainda preventivas para esse tipo de poluição ambiental (BROWN, 1994). Uma parcela desse ruído é representada pelo ruído de tráfego (RT), sendo um somatório de diversas fontes em trânsito como: automóveis, ônibus, motos, trens e outros (JOHNSON & SANDERS, 1968).

As fontes de trânsito que fazem parte de uma rodovia, independente da função que estejam desempenhando, seja ela de passagem ou de obras rodoviárias, compõem o ruído de tráfego rodoviário (RTR), que é uma parte do RT (VDA, 1978; JOHNSON & SANDERS, 1968); assim o aumento no nível de ruído sonoro a medida que a fonte se aproxima do observador, atinge um pico de nível sonoro e diminui conforme a fonte se afasta do ponto de observação, gerando assim o nível de ruído de fundo.

O som proveniente da força de tração unitária do veículo e a interação pneu/via são as duas parcelas básicas que compõem o ruído de tráfego (SANDBERG, 1987). A parcela mais significativa do ruído total gerado pelo tráfego é observada pela interação do pneu do veículo com a superfície de uma rua e é gerada pelo movimento das partículas de ar em torno do pneu e pela sua vibração (GOLEBIEWSKI *et al.*, 2003).

O nível de ruído gerado pelo atrito entre pneus e via é relacionado com a velocidade, rugosidade da via e com o modelo de pneu utilizado, enquanto o ruído proveniente da força de tração unitária do veículo está diretamente relacionado ao nível tecnológico e ao modo de operação deste. Já a influência da rodovia está basicamente associada à topografia, às condições gerais de tráfego e à capacidade de absorção do pavimento da superfície (MURGEL, 1998). Quanto ao pavimento, usando-se betume com borracha, ocorre uma redução no nível do ruído de aproximadamente 6 a 8 dB(A). Países como Estados Unidos e Portugal já adotam essa técnica. Para se ter uma idéia do benefício dessa redução, seria necessário diminuir o tráfego pela metade para se obter 3 dB(A) de diminuição do ruído de circulação (COSTA, 2007).

Na Europa, o tráfego de veículos é a fonte responsável por 90% dos níveis sonoros inaceitáveis, embora tanta tecnologia desenvolvida desde épocas passadas não tenha sido o suficiente (BRÜEL & KJÆR, 2000). Em pesquisa realizada na cidade de Curitiba, um percentual de 73% das pessoas entrevistadas identificou o ruído gerado pelo tráfego como a fonte principal do ruído ambiental causador de incômodo às pessoas (ZANNIN, 2002).



Uma medida significativa para a diminuição da poluição sonora em grandes rodovias é a diminuição nos limites de velocidade (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; DEPARTMENT OF TRANSPORT 1996), pois consegue diminuir em até 4 dB(A) ou mais o nível médio de poluição sonora gerado pelos automóveis e veículos pesados nos grandes centros urbanos (BENDTSEN *et.al.* 2005).

De acordo com Orozco-Medina & Figueroa Montaño, 2010, o ruído é um indesejado subproduto do modo de vida moderno e o tráfego é o responsável por 70% desse problema.

Lizana, 2010, afirma, na mesma linha de pensamento, que os ruídos são os custos associados ao progresso.

## 2.4 ASPECTOS NORMATIVOS

A Resolução n.º 001 de 08/03/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em caráter nacional, estabelece normas no interesse da saúde e afirma que a qualidade de vida vem sendo deteriorada nos centros urbanos, devido à poluição sonora, e que níveis excessivos de ruído fazem parte dos problemas sujeitos ao Controle da Poluição de Meio Ambiente (QUADROS, 2004).

Esse mesmo Conselho, em sua Resolução n.º 252 de 01/02/1999, considera excessivo o ruído proveniente do tráfego dos veículos rodoviários automotores, por isso nos grandes centros urbanos do Brasil essa poluição sonora precisa ser reduzida, pois causa problemas à saúde física e mental e, particularmente, à audição. Segundo essa mesma resolução, são adotados, como valores de referência, os preconizados pela norma NBR 10.151 (ABNT, 2000).

A Resolução n.º 252 de 01/02/1999 regulamenta os níveis máximos permitidos de ruído nas proximidades do escapamento para fins de inspeção obrigatória e fiscalização dos veículos em uso, para reduzir o nível de ruído ambiental nas grandes cidades que têm como principal meio de transporte os veículos rodoviários automotores.

A portaria n.º 3.214/1978, com fundamento na Norma Regulamentadora n.º 15, Anexo n.º 1, do Ministério do Trabalho, estabelece os limites de tolerância para ruído Contínuo e Intermitente no ambiente do trabalho e de exposição ao ruído em relação

ao tempo. Os tempos de exposição aos níveis de ruído de 85 dB não devem exceder 8 horas por dia, já limites de 115 dB não poderão ultrapassar 7 minutos de exposição diária (BRASIL, 2013).

A Resolução n.º 204 de 2006, criada pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2006), determina o volume e a frequência dos sons emitidos por equipamentos encontrados em veículos e estabelece os critérios que devem ser adotados pelas autoridades de trânsito para a medição desses níveis sonoros.

As avaliações realizadas no Brasil quanto à poluição sonora ambiental são regidas pela norma NBR 10151 “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando ao conforto da comunidade”. Ainda segundo a mesma norma, as medições devem ser afastadas do piso aproximadamente 1,20m e pelo menos 1,50 m de distância de superfícies refletoras, e os períodos diurno e noturno podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. O período noturno não deve começar depois das 22h e não poderá terminar antes das 7h, e, se o dia seguinte for domingo ou feriado, esse término não poderá ser anterior das 9h.

A TABELA 2 estabelece o nível de critério de avaliação (NCA), para ambientes externos, conforme a região e o período do dia.

TABELA 2 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO PARA AMBIENTES EXTERNOS

<b>TIPOS DE REGIÕES</b>	<b>DIURNO dB(A)</b>	<b>NOTURNO dB(A)</b>
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana com hospitais ou escolas		45
Área mista, predominante residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominante industrial	70	60

FONTE: NBR 10.151, 2000.

Questões relacionadas ao ruído urbano, proteção do bem-estar e do sossego urbano na cidade de Curitiba são regidas pela Lei Municipal n.º 10.625 de 2002, que também define uma classificação conforme o período do dia:

- ✚ Diurno - das 07h01min às 19h00min
- ✚ Vespertino - das 19h01min às 22h00min
- ✚ Noturno – das 22h01min às 07h00min

Na TABELA 3, são apresentados os níveis equivalentes permissíveis conforme as diferentes regiões e o período do dia, na cidade de Curitiba. Como algumas das zonas de uso da lei municipal correspondem às regiões definidas pela NBR 10.151, foi realizado um ajuste equivalente das regiões conforme essa NBR para melhor entendimento.

TABELA 3 - NÍVEIS EQUIVALENTES PERMITIDOS CONFORME AS REGIÕES E O PERÍODO DO DIA, NA CIDADE DE CURITIBA

Zonas de uso	Diurno dB(A)	Vespertino dB(A)	Noturno dB(A)
Região 2	55	50	45
Regiões 1 e 3	60	55	50
<b>Região 4 (ZT-BR-116 Zona de Transição)</b>	<b>65</b>	<b>60</b>	<b>55</b>
Regiões 5 e 6	70	60	60

FONTE: NBR 10151, 2000.

A seguir são apresentadas algumas das zonas de uso da lei municipal correspondentes às regiões definidas pela NBR 10.151:

- ✚ Regiões 1 e 3: ZR-OC Zona Residencial de Ocupação Controlada; ZR-SF Zona Residencial Santa Felicidade; ZR-U Zona Residencial Umbará; ZR-P Zona Residencial Passaúna.
- ✚ Região 2: ZR-1 Zona Residencial 1; ZR-2 Zona Residencial 2; ZR-3 Zona Residencial 3; ZR-AV Zona Residencial Alto da Glória; ZR-B Zona Residencial Batel; ZR-M Zona Residencial Mercês.

- ✚ Região 4: ZR-4 Zona Residencial 4; ZC Zona Central; **ZT-BR-116 Zona de Transição BR - 116**; Z-UM Zona de Uso Misto; ZE-D Zona Especial Desportiva; SH Setor Histórico; SC-SF Setor Especial Comercial Santa Felicidade; SE-LE Setor Especial Linhão do Emprego 10; APA-SS Setor de Serviço.
- ✚ Regiões 5 e 6: ZS-1 Zona de Serviço 1; ZS-2 Zona de Serviço 2; ZI Zona Industrial; APA-SUE Setor de Uso Esportivo.

O Capítulo VI da Constituição Brasileira, no artigo 23, entre as competências comuns da União, Estados e Municípios, estabelece o combate da poluição em qualquer de suas formas bem como a proteção ao meio ambiente e ainda determina: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida...” (BRASIL, 1988).

## 2.5 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

Para elaboração deste trabalho foram utilizados conceitos sobre acústica técnica e, para facilitar a compreensão do tema abordado, serão contemplados neste capítulo os principais conceitos.

Inicialmente definem-se as propriedades acústicas das ondas sonoras, bem como as principais grandezas e unidades inerentes para o entendimento do estudo referente ao ruído de tráfego.

## 2.6 SOM E RUÍDO

Muitos sons fazem parte do nosso dia a dia, como a música, uma batida na porta, ondas do mar, entretanto alguns são considerados desagradáveis em nosso mundo moderno, sendo definidos como ruído. Este depende de vários fatores como a atitude do indivíduo frente a ele e algumas características como duração, amplitude e frequência (GERGES, 2000). O ruído também pode ser definido como vibrações não harmoniosas. Ruído e som possuem diferença na percepção subjetiva

das pessoas frente à propagação das ondas sonoras, as quais podem ser incômodas ou harmoniosas (DINIZ, 2003).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (ABNT, 2000, 1987), o som é definido como uma forma de energia proveniente de um corpo que emite, em uma ou mais direções, movimentos vibratórios que se propagam em meios elásticos e que se podem ouvir, isto é, os sons são flutuações de pressão caracterizadas por movimentos de compressão e expansão de moléculas que se propagam em forma de ondas, a partir do ponto de origem do som. Essas flutuações de pressão se propagam em um meio elástico, podendo este ser sólido, líquido ou gasoso (KINSLER, 1982). O som ainda pode ser definido como uma forma de energia transmitida pelo choque das moléculas do meio umas contra as outras sucessivamente, sem existir a transferência de matéria, apenas de energia (GERGES, 2000).

A percepção para um estímulo sonoro depende do indivíduo, pois o que para uma pessoa é um som agradável, para outras, pode ser considerado uma fonte de ruído insuportável (AZEVEDO, 2004), ou seja, depende da subjetividade de cada indivíduo.

## 2.7 CAMPO ACÚSTICO

O campo acústico pode ser descrito como a existência de oscilações entre um estado estacionário, onde ocorre uma perturbação sonora de uma fonte até um receptor (BIES & HANSEN, 2002). Quando a pressão sonora proveniente da fonte não sofre perda ou reflexão é classificada como campo acústico direto. Se possuir um meio de propagação homogêneo ou isotrópico, é classificada como livre (HARRIS, 1998; BERANEK & VÉR, 1992). Ainda pode ser classificado como campo sonoro difuso ou campo sonoro distante, quando existe diminuição do nível de pressão sonora da fonte, com o aumento do percurso entre a fonte e o receptor (BIES & HANSEN, 2002; HARRIS, 1998).

## 2.8 PROPAGAÇÃO DO SOM

A partir de uma fonte pontual, o som se propaga em forma de ondas esféricas. Algumas situações podem dificultar esse modelo, como a existência de obstáculos na trajetória de propagação ou a não conformidade do meio, ocasionada por ventos e/ou diferenças de temperatura em campo aberto. Quando uma onda sonora depara-se com um obstáculo com dimensões menores do que seu comprimento de onda, o efeito não será percebido, caso contrário, o obstáculo irá impedir a propagação do som. Barreiras devem ser colocadas próximas à fonte, para impedir a passagem do som, sendo que suas dimensões devem estar entre três e cinco vezes o comprimento de onda do som envolvido (GERGES, 2000).

### 2.8.1 Fenômenos de propagação de ondas sonoras

Certos fenômenos sobre a propagação das ondas sonoras são descritos através do meio material em que se propagam e muitas vezes influenciados por suas características (BERANEK, 1960). Os fenômenos mais conhecidos e estudados são: difração, absorção, reflexão, refração, transmissão e efeito *Doppler*.

Quando a onda sonora é capaz de contornar os obstáculos, esse fenômeno é chamado de difração, ou seja, o comprimento da onda sonora é relativamente pequeno quando comparado ao obstáculo (HARRIS, 1998; KINSLER *et al.*, 1982).

Quando uma parte da onda sonora incidente é distorcida pelo meio, ocorre o fenômeno conhecido como absorção. O ar, por exemplo, é considerado um atenuador da onda sonora, e, quando essa onda, ao encontrar um objeto, conseguir atravessá-lo, acontece o fenômeno denominado de transmissão (BIES&HANSEN, 2002; KINSLER *et al.*, 1982).

O fenômeno conhecido como refração acontece quando a velocidade de propagação do som de um meio material sofre variação de ordem crescente ou decrescente devido à ação de um ou mais elementos que integram o meio (HASSALL&ZAVERI, 1979; NEPOMUCENO, 1968).

Quando uma onda sonora incide em uma superfície que separa dois meios distintos, e uma parte dessa energia incidente retorna ao meio de origem, observa-se o fenômeno conhecido como reflexão (BIES&HANSEN, 2002; HASSALL&ZAVERI,1979).

Por fim, o fenômeno denominado de efeito *Doppler* pode ser observado quando há deslocamento do meio de propagação com ou sem a ocorrência do movimento entre o observador e a fonte,, ou seja ocorre uma variação na frequência recebida pelo observador (HARRIS, 1998).

## 2.9 VELOCIDADE DO SOM

A velocidade do som nos fluidos, segundo SHAPIRO (2011), pode ser definida como:

$$c^2 = \frac{p\gamma}{\rho} = \gamma R(273,15 + T) \quad (1)$$

onde:

$c$  é a velocidade do som em [m/s];

$p$  é a pressão sonora do meio em [Pa];

$\gamma$  é a razão entre calor específico do gás a pressão e volume constantes;

$\rho$  é a densidade do meio [kg/m<sup>3</sup>];

$R$  é a constante universal dos gases e para o ar vale 8,31J/kg·K;

$T$  é a temperatura do meio em [°C].

## 2.10 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

A menor variação de pressão que o ouvido humano pode captar a 1000 Hz é igual a 20 Pa (5.000.000.000 de vezes menor que a pressão atmosférica, que é de aproximadamente 101,3 kPa). O ouvido humano pode tolerar variações de pressão

milhões de vezes maiores que a variação mínima. Então, se a amplitude do som for medida em Pascal, a escala deve ser excessivamente grande. Para evitar-se isso, utiliza-se o decibel ou dB, que é uma medida da razão entre duas quantidades. É uma unidade de medida adimensional. A definição do dB é obtida com o uso do logaritmo. Segundo Gerges (2000), tanto a intensidade como a duração dependem do grau de prejuízo que um certo ruído pode ocasionar.

Segundo Shultz (1972), por definição, o Nível de Pressão Sonora (NPS) em decibel (dB) é dez vezes o logaritmo de base dez, da razão entre o quadrado da pressão sonora efetiva pela pressão sonora de referência, ou seja, o nível de pressão sonora é obtido, segundo Gerges (2000) em dB, por meio da seguinte expressão:

$$\text{NPS} = 10 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right)^2 \quad (2)$$

onde:

$p$  é a pressão sonora efetiva medida em [Pa];

$p_0$  é a pressão sonora de referência para o ar e vale  $2 \times 10^{-5}$  [Pa].

O ouvido humano e os sons audíveis por ele podem ser incluídos dentro de uma escala que varia de 0dB, o limiar da audição, e chega até o limiar da dor considerado 140dB. A TABELA 4 demonstra alguns sons observados no nosso dia a dia com os valores dos seus respectivos NPS (SCHERER, 2005).

TABELA 4 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA DE ALGUMAS FONTES

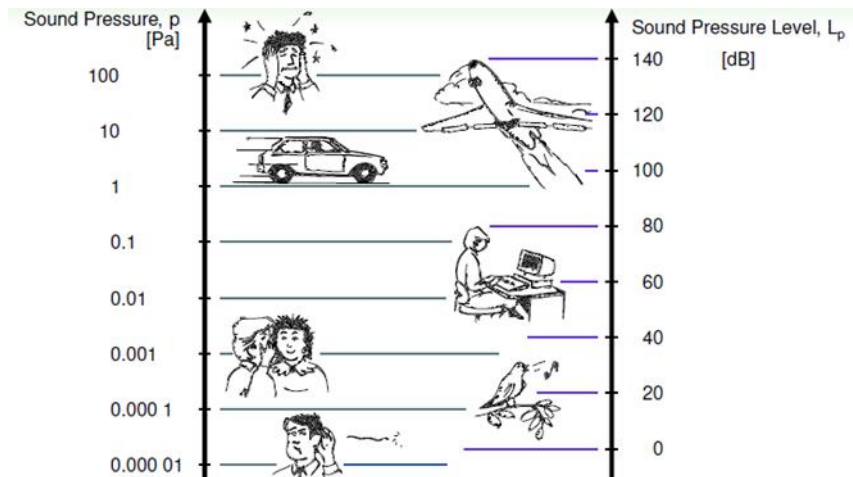
<b>Tipos de Fontes</b>	<b>NPS dB(A)</b>	<b>Sensação</b>
Chuvisco	30	Muito baixo
Conversa	50	Normal
Ruído de escritório	60	Normal
Aspirador de pó	70	Alto
Ruído de tráfego pesado	80	Alto
Moto a 10m	90	Muito alto
Buzina de veículo a 7m	100	Muito alto
Avião na aterrissagem	150	Insuportável

FONTE: SCHERER, 2005



Conforme a TABELA 5, é possível fazer uma comparação entre os valores de pressão sonora com o nível de pressão sonora, também representado pela sigla  $L_p$ , do inglês “*pressure level*” (HARRIS, 1998).

TABELA 5 - COMPARAÇÃO ENTRE A PRESSÃO SONORA E O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA



FONTE: BRUEL & KJAER, 2000.

De acordo com Shultz (1972), o nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) é um nível constante médio que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído durante o período de medição, sendo calculado pela seguinte fórmula:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left\{ \frac{1}{t} \left[ \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \right\} \text{ [dB]} \quad (3)$$

onde,

$t = (t_2 - t_1)$  é o tempo total de duração [s];

$p(t)$  é a pressão sonora instantânea em [Pa] e

$p_0$  é a pressão sonora de referência  $2 \times 10^{-5}$  [Pa].

Como se observa na Eq. (3), o nível equivalente é dado por um valor constante e, conforme a variação do período de tempo  $T$  resultaria na mesma energia acústica produzida pelos valores instantâneos variáveis de pressão sonora (QUADROS, 2004).

## 2.11 NÍVEIS MÁXIMOS E MÍNIMOS DE RUÍDO

Durante um ciclo de oscilações periódicas, a pressão sonora instantânea pode assumir um valor máximo e mínimo em relação aos eventos ocorridos durante esse ciclo de oscilações (HASSALL & ZAVERI, 1979). Esses níveis de pressão sonora são representados por  $L_{mín}$ , o menor nível sonoro encontrado num intervalo de tempo medido, e  $L_{máx}$ , o maior nível sonoro medido durante um evento (HARRIS, 1998). O valor máximo em uma medição de tráfego rodoviário pode ser representado pelo sonar de uma buzina ou ainda por um caminhão com pouca manutenção, que emite um nível de pressão sonora elevado.

A identificação desses níveis máximos e mínimos dentro de um espectro sonoro é de suma importância para o reconhecimento de sons atípicos ao evento de interesse (BIES & HANSEN, 2002; BERANEK, 1993).

## 2.12 RUÍDO DE FUNDO

Um ambiente é composto pelo som de diferentes fontes, direções e distâncias. Esse ruído pode ser classificado como ruído ambiente e, dentro dele, está nossa fonte sonora de interesse, ou seja, o ruído de fundo é o ruído total das fontes sonoras do ambiente que não são a fonte sonora de interesse (HARRIS, 1998), por isso pode ser definido também como ruído ambiente (NBR 10.151, 2000).

As tarefas do dia a dia envolvem a geração de diversos sons, por menores que sejam, caracterizando, assim, os ambientes urbanos com o ruído de fundo, mais perceptível durante o dia (FRITSCH, 2006).

Quando a diferença entre a fonte a ser estudada e a fonte de ruído de fundo for superior a 10 dB não necessita de correção, porém, quando a diferença for inferior a 3 dB, o nível de ruído de fundo será muito alto para uma medição confiável, ou seja, o valor do ruído de fundo precisa estar 3dB acima do ruído de fundo para que a fonte de interesse não seja mascarada (GERGES, 2000; REYNOLDS,1981). Os valores dos níveis sonoros somados ou subtraídos não são efetuados de forma aritmética (BIES & HANSEN, 2002).

### 2.12.1 Adição de níveis de pressão sonora

Como os níveis sonoros são energias sonoras estudadas em escala logarítmica, para adicionar dois níveis sonoros não é certo fazer a adição dos níveis de ruído de forma aritmética. Segundo Gerges (2000), a adição de níveis sonoros diferentes é dada pela fórmula:

$$NPS_t = L_1 + \Delta L \quad (4)$$

Segundo Gerges, 2000 e Reynolds, 1981, o  $\Delta L$  pode ser obtido por meio da fórmula:

$$\Delta NPS = 10 \cdot \log \left[ 1 + 10^{-\left(\frac{NPS_1 - NPS_2}{10}\right)} \right] \quad (5)$$

onde,

$NPS_t$  é o nível de pressão sonora [dB];

$NPS_1$  é nível de pressão sonora da fonte de maior valor a ser adicionada [dB];

$NPS_2$  é nível de pressão sonora da fonte de menor valor a ser adicionada [dB] e

$\Delta NPS$  é a diferença entre o  $NPS_1$  e o  $NPS_2$ .

Bies & Hansen (2002) apresentam uma expressão geral para a soma do nível de pressão sonora para várias fontes:

$$NPS_t = 10 \cdot \log[10^{0,1NPS1} + 10^{0,1NPS2} + \dots + 10^{0,1NPSi}] \quad (6)$$

onde:  $NPS_i$  é o nível de pressão sonora correspondente a  $i$ -ésima fonte a ser adicionada em [dB]. A soma de duas fontes sonoras incoerentes gerando níveis de pressão sonora resultará no aumento máximo de 3 dB (REYNOLDS, 1981).

### 2.12.2 Subtração do ruído de fundo

O ruído de fundo não pode mascarar o nível sonoro de interesse (GERGES, 2000), logo, de forma análoga à adição, os níveis sonoros não podem ser subtraídos de forma algébrica linear (ROSSING *et al*, 2001). Portanto, o nível de pressão sonora, eliminando o ruído de fundo, pode ser fornecido pela equação:

$$NPS = NPS_t - \Delta NPS \quad (7)$$

onde:  $\Delta NPS$  é definido pela Eq. (6)

### 2.13 CURVA DE PONDERAÇÃO SONORA

As curvas de ponderação são utilizadas para reproduzir a sensibilidade da audição, porque o ouvido humano não é igualmente sensível ao som em diferentes faixas de frequência (QUADROS, 2004). A curva A é a mais indicada para medir ruído ambiental, ruído de tráfego, conforto acústico e outros, pois representa melhor a audição humana, porém essas curvas podem ser classificadas em A, B, C e D. A curva de ponderação A, como mostra a FIGURA 1, é utilizada em normas de todo o mundo (SCHERER, 2005).

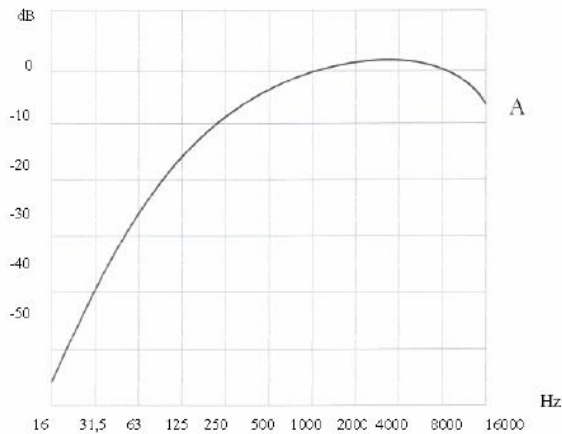


FIGURA 1 - CURVA DE PONDERAÇÃO A  
 FONTE: VERBAND,1978

## 2.14 EMISSÃO E IMISSÃO SONORA

A pressão sonora emitida efetivamente pela fonte que gera o som ou ruído é chamada de emissão sonora. A imissão sonora é a pressão sonora que o sistema auditivo efetivamente recebe, com suas perdas na transmissão entre a fonte e o receptor (BIES & HANSEN, 2002; VERBAND,1978).

Muitas são as variáveis que influenciam os fenômenos de emissão e imissão, dentre as principais encontram-se a distância entre a fonte e o receptor, absorção do solo, e os fenômenos conhecidos como reflexão, difração, refração (PICAUT & SIMON, 2001; DEFRANCE & GABILLET, 1999; WETZEL *et al.*, 1999; (MAKAREWICZ, 1998).

## 2.15 FONTES DE RUÍDO NO AMBIENTE URBANO

A combinação de diferentes níveis sonoros originados de diferentes fontes sonoras nas grandes cidades, como alarmes, sirenes de ambulâncias, igrejas, obras de construção civil, o aumento no número de veículos, tem contribuído para o aumento do nível de ruído sonoro nos grandes centros urbanos, tornando o ambiente desagradável. Muitas vezes essa poluição sonora atrapalha a realização

de diferentes tarefas, como por exemplo: estudar, trabalhar e até mesmo descansar (GUEDES, 2005). Além disso, como fator agravante, as indústrias, antes construídas em lugares afastados dos grandes centros pelo alto nível de ruído gerado por elas, hoje se encontram próximas aos grandes centros, pelo crescimento das cidades (SOUSA, 2004).

Os ruídos nos grandes centros urbanos podem ser agrupados em quatro grandes categorias: transporte seja aéreo, rodoviário ou ferroviário, indústria, construção civil, cada vez mais presente no dia a dia das pessoas com o aquecimento imobiliário, além do ruído proveniente das próprias residências. Segundo Guedes (2005), existe ainda o ruído gerado pelo lazer, atividades militares, comércio e serviço.

Quando uma cidade se transforma em um amontoado de prédios, buzinas, em uma quantia de carros, congestionamentos, existem o êxodo das classes de maior renda em busca de uma vida com terrenos mais amplos e silenciosos (CARLOS, 1992).

#### 2.15.1 Classificação das fontes de ruído conforme suas características

As fontes sonoras são classificadas conforme suas características. Dentre elas existe a característica de mobilidade, que pode ser fixa como uma indústria, um bar, e móvel, como os automóveis, motos e aviões (FRITSCH, 2006).

A característica de direcionalidade prega que a fonte pode ser classificada como omnidirecional, ou seja, quando a pressão sonora é a mesma em qualquer ponto a uma mesma distância da fonte, e direcional, quando o nível de pressão sonora gerado em uma distância igual à da fonte for recebido em diferentes direções (NAGEM, 2004).

Quanto a suas características geométricas, as fontes podem ser reconhecidas como pontuais, quando suas dimensões são menores que a distância entre a fonte e o receptor (BISTAFA, 2006). Essa característica permite observar a diminuição de 6 dB do nível da pressão sonora toda vez que se dobra a distância em relação à fonte (GERGES, 2000).

## 2.16 MAPEAMENTO ACÚSTICO

O mapeamento acústico com a finalidade de controlar o ruído está cada dia mais presente em diversos países, tornando-se fundamental para o diagnóstico e a avaliação de um ambiente sonoro (ANNECKE & ZIMMERMAN, 2008; LEE *et.al.* 2008; KO *et.al.*, 2011; TSAY *et.al.*, 2009; MURPHY & KING, 2010). Esse tipo de mapa é um instrumento no controle ou redução da poluição sonora, proporcionando um desenvolvimento sustentável, pois garante um planejamento ou uma solução para melhor qualidade de vida para a população urbana, que encontra níveis sonoros indesejáveis no seu dia a dia.

É possível identificar as principais fontes sonoras no meio a ser estudado, em uma região ou diversa, e ainda quantificá-las, por meio do mapeamento acústico.

Para a confecção dos mapas acústicos são utilizados diversos parâmetros do tráfego e das características topográficas do local a ser estudado. Com a introdução de dados em softwares sofisticados, calcula-se automaticamente a imissão de ruído em diversos pontos, e, em uma escala de cores, gera-se um mapa que é constituído por diversos níveis sonoros, facilmente identificados.

Segundo Manvell & Banda, 2011, esse mapeamento permite diferentes simulações, por meio da alteração de parâmetros que determinam a emissão e a imissão do ruído. Esse mapa torna-se uma ferramenta fundamental para avaliar o ambiente a respeito do impacto ambiental causado pelo ruído do tráfego e realizar avaliação prévia da eficácia de alternativas sobre o controle do ruído que se queira adotar.

Muitas são as ferramentas para o gerenciamento do ruído ambiental disponíveis por esses mapas acústicos, dentre elas: mapeamento sonoro da situação atual da região avaliada e suas prospecções futuras, contribuindo para o planejamento urbano; ampla visão do problema ambiental existente; identificação e quantificação precisa das fontes de ruído que afetam o meio ambiente em estudo e a elaboração de uma base de dados.

Com a elaboração de uma base de dados sobre estudos de poluição sonora, é possível fazer comparações futuras que podem ser usadas para um planejamento preciso de políticas públicas a respeito do zoneamento urbano, legislação pertinente ao controle de emissões geradas pelas fontes sonoras ou para elaboração de leis

sobre a quantidade de ruído que chega à população. Essa base de dados ainda pode ser utilizada para diminuir as medições de campo, muito dependentes das condições climáticas, além de tempo para realizá-las e de dinheiro.

A avaliação dos dados sonoros emitidos pelas diversas fontes responsáveis pelo ruído é de suma importância ambiental quando comparada aos ruídos efetivamente recebidos pela população e impreterível para a elaboração do impacto ambiental ocasionado pela poluição sonora (MURPHY & KING, 2010; TSAI *et.al.*, 2009; PINTO & MARDONES, 2008; FIEDLER *et.al.*, 2012; ZANNIN & SANT'ANA, 2011; PAZ 2004; KO *et.al.*, 2011; ZEYNEP & NEŞE, 2012).

## 2.17 ISO 9613-1/2 ROAD

Muitos são os modelos que fazem o mapeamento do ruído, calculando a exposição a este com base em diversas informações como origem, topografia e outros dados, dependendo do tipo de ruído que se deseja prever. Atualmente, junto ao desenvolvimento dos computadores, surgiram diversos pacotes de software de mapeamento de ruído, como: CADNA, ENM, fluidyn, IMMI, , Mitra, Predictor-Lima, Noisemap, e SoundPLAN.

Existem muitos programas que realizam o cálculo do ruído ambiental e um modelo rodoviário bem popular é o ISO 9613 -1/2 Road, encontrado no software Predictor®, que será utilizado neste estudo para realização da predição acústica. Existem outros, porém. Dentre eles: o *Richtlinien für den Lärmchutz an Straßen* (RLS-90) da Alemanha; o *NMPB-2008*, que é um método francês, o *Calculation of Road Traffic Noise* (CRTN), usado em trabalhos no Reino Unido e o *Federal Highway Administration* (FHWA) dos Estados Unidos.

O Predictor® é um software em ambiente MS-Windows®, desenvolvido principalmente para a elaboração de mapas de níveis sonoros. É uma ferramenta eficaz na predição de níveis de pressão sonora, planos de controle de ruído de acordo com o regime legal sobre a poluição sonora e implementação de medidas necessárias ao cumprimento da lei. Além disso, realiza avaliações acústicas, estudos de impacto sonoro no ambiente, dentre outras funções. Foi desenvolvido



para ser usado em diferentes ambientes, tais como: indústrias, universidades, governos e empresas de consultoria.

O software *Predictor*® foi criado especialmente para realizar simulações de ruído, seja de tráfego, de aeronaves, industrial e até mesmo ocupacional. O software conta com o módulo de ruído rodoviário ISO 9613-2, que realiza mapeamento dos diferentes níveis sonoros em ambientes externos. Antes de o cálculo ser iniciado, devem-se estabelecer parâmetros para que o programa calcule corretamente a correção proveniente do solo, ar, dentre outros.

A norma ISO 9613-2,1996, especifica como a propagação do som é atenuada por diferentes fatores, sejam eles reflexões, relevo, barreiras, temperatura, vento e outros, e ainda como esses valores são corrigidos.

As fórmulas de cálculo baseadas na ISO 9613 -1/2 do *Predictor*® são:

$$L_{It,per} = L_{dw} - C_m - C_{t,per} \quad (8)$$

$$L_{dw} = L_W - R - A \quad (9)$$

onde:

$L_{It,per}$ : Nível de pressão sonora em dB(A) de longa duração em oitava ( ou 1/3 de oitava) durante o período de avaliação;

$C_m$ : Correção meteorológica em dB;

$C_{t,per}$ : Correção para o tempo de atividade da fonte durante o período de avaliação em dB;

$L_{dw}$ : Nível de pressão sonora equivalente contínuo em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);

$L_W$ : Nível de potência sonora em dB(A) em oitava (ou 1/3 de oitava);

$R$ : Redução da fonte definida pelo usuário em dB em oitava (ou 1/3 de oitava);

$A$ : Atenuação (por banda de oitava) em dB em oitava (ou 1/3 de oitava);

A atenuação  $A$  é calculada a partir da seguinte equação:

$$A = D_c + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{fol} + A_{site} + A_{hous} \quad (10)$$

Dc: Correção da diretividade em dB;

Adiv: Atenuação provocada pela divergência entre a fonte e o receptor em dB;

Aatm: Absorção atmosférica em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

Agr: Atenuação provocada pelo solo em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

Abar: Atenuação provocada por obstáculos (edifícios, topografia, muros, etc.) em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

Afol: Atenuação devido a vegetação e folhagem em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

Asite: Atenuação devido a instalações de uma indústria em dB/ oitava (ou 1/3 de oitava);

Ahous: Atenuação devido a residências em dB.

Os desenhos são realizados com a maior precisão possível, com alturas e distâncias determinadas conforme a realidade seja ela de edificações, ruas ou vegetação, para que o software *Predictor*® realize todos os caminhos e atenuações percorridos pelo som, com suas possíveis reflexões causadas pelos diferentes obstáculos.

A emissão do nível de pressão sonora em suas respectivas rodovias é obtida pela potência sonora por metro ou ainda pela quantidade de veículos que passam na via, por hora, a velocidade média em que esses veículos se encontram e ainda o tipo de pavimento. Existem vários tipos de subdivisão para os veículos. Para fins desta pesquisa, eles foram classificados em três categorias: motocicletas, veículos leves e veículos pesados, contados durante o tempo de medição e extrapolados para números por hora.

Para cada categoria, a potência sonora é calculada da seguinte forma

$$L_w = 10 * \log\left(\frac{Q}{V}\right) + a + b * V + C_{wh} \quad (11)$$

$$C_{wh} = \text{Max}(C_w, C_h) \text{ se } C_h <> 0, C_w \text{ se } C_h = 0 \quad (12)$$

$$C_h = 5 * \log(ph) - 1,5 \quad (13)$$

onde:

Q é o número médio de veículos por hora;

$V$  é a velocidade média do tráfego em km/h;

$a$  é a parte da potência sonora gerada por um veículo (não depende da velocidade) em dB(A);

$b$  é a parte da potência sonora gerada por um veículo (depende da velocidade) em dB(A);

$C_{wh}$  é a correção combinada para tipo de pavimento e declividade em dB;

$C_w$  é a correção da superfície (pavimento) em dB(A);

$C_h$  é a correção da declividade em dB; e

$ph$  é a declividade em %.

Segundo ZANNIN & SANTANA, 2011; LEE *et.al.*, 2008, CHO *et.al.*, 2004; CHO & MUN, 2008, FIEDLER *et.al.*, 2012, FIEDLER 2013), o modelo ISO 9613-1/2 Road está sendo usado em muitos trabalhos publicados; justificando assim a escolha deste modelo para a presente pesquisa. Ainda é esse modelo que realiza mapeamento acústico com boa precisão e com uma certa complexidade (BIES & HANSEN, 2002).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: A LINHA VERDE

A Prefeitura de Curitiba está substituindo o antigo trecho urbano da BR-116 pela maior avenida da cidade, a Linha Verde, que recebe esse nome, pois, desde o projeto à execução, a questão ambiental está sendo determinante. Um novo marco dos sistemas viário e de transporte público de Curitiba, a Linha Verde é a maior alteração urbanística realizada na cidade nos últimos 30 anos. (IPPUC, 2013).

Esse projeto conta com o plantio de 5.200 árvores de espécies nativas, a construção de um parque de 21 mil metros quadrados, a implantação de um horto-parque e ainda pretende realizar encontros técnicos e promover atividades relacionadas à educação ambiental, com o objetivo de melhorar e aumentar o transporte na região, garantir a segurança de pedestres e ainda promover o desenvolvimento econômico dos bairros da região. (IPPUC, 2013).

O projeto da Linha Verde faz parte do Programa de Transporte Urbano da Prefeitura de Curitiba, de acordo com a Prefeitura Municipal de Curitiba. Essa avenida possui duas etapas conhecidas como a Linha Verde Sul e a Linha Verde Norte. A Linha Verde Sul inicia no bairro Pinheirinho e estende-se até o bairro do Jardim Botânico, com uma extensão de aproximadamente 9,4 km. A Linha Verde Norte vai ligar onze bairros da região Norte de Curitiba, que começa no bairro Jardim Botânico e termina no bairro do Atuba, antes divididos pela antiga BR-116, rodovia que dividia a cidade ao meio, totalizando assim 18 km de extensão (IPPUC, 2013), FIGURA 2.

Como a malha viária da região não acompanhou o crescimento urbano e populacional que aconteceu em Curitiba, o projeto Linha Verde será de grande valia para melhor integração entre as regiões sul e norte da cidade; permitindo melhor deslocamento entre as áreas metropolitanas das cidades. O projeto ainda será de grande importância ambiental, proporcionando uma qualidade de vida melhor à população com a construção de parques, e encontros com o intuito de promover uma consciência ambiental.



FIGURA 2 - MAPA DA EXTENSÃO DO PROJETO  
 FONTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (2012)

### 3.2 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS AVALIADOS

Foram selecionados 25 pontos de medição acústica espaçados aproximadamente entre si em 350 m. O primeiro ponto está localizado próximo ao viaduto da BR-277 sobre a Linha Verde e o último, no Bairro do Atuba. A medição avalia uma distância de 10.500 m. A

FIGURA 3 mostra todos os pontos escolhidos para a realização das medições. As FIGURAS 4 a 10 mostram a subdivisão dos pontos de medição para melhor visualização.





FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 01 AO 29  
FONTE: GOOGLE MAPS, (2012)

O ponto 01 está localizado próximo ao Centro Politécnico, perto do viaduto da BR-277, e os pontos 02, 03 e 04 seguem em direção ao Bairro Atuba, como mostra a FIGURA 4.



FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 01, 02, 03 E 04  
FONTE: GOOGLE MAPS, (2012)



FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 05, 06, 07 E 08  
FONTE: GOOGLE MAPS, (2012)





FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 09, 10, 11 E 12  
FONTE: GOOGLE MAPS, (2012)

O ponto 15 da FIGURA 7 está próximo ao hospital Vita, onde será analisado o ruído de fachada que chega a ele, por meio de uma projeção vertical em 3D, capaz de definir o valor exato que chega exatamente à entrada do hospital, pois o prédio tem um recuo de 30 metros da rodovia, o que ameniza bastante a propagação do ruído.



FIGURA 7 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 13, 14, 15 E 16  
FONTE: GOOGLE MAPS, (2012)



FIGURA 8 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 18, 19 E 20  
FONTE: GOOGLE MAPS, (2013)

Os pontos, representados pela FIGURA 9, localizam-se no Trevo do Atuba. Será avaliado nesse espaço um empreendimento imobiliário quase finalizado para moradia, à margem da Linha Verde. O prédio terá avaliação vertical, capaz de revelar o ruído que chega à fachada, e localiza-se próximo ao ponto 22.



FIGURA 9 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS 21, 22, 23, 24 E 25  
FONTE: GOOGLE MAPS (2012)

Os locais que contarão com avaliação de fachada vertical são o Hospital Vita, como mostra a FIGURA 10, e o empreendimento imobiliário, conforme a FIGURA 11.



FIGURA 10 - HOSPITAL VITA, CURITIBA-PR  
FONTE: GOOGLE MAPS, (2013)





FIGURA 11 - EMPREENDIMENTO IMOBILIÁRIO, CURITIBA - PR  
FONTE: A AUTORA, (2013)



FIGURA 12 - OBRAS NA LINHA VERDE NORTE  
FONTE: A AUTORA, (2013)

### 3.3 PROCEDIMENTO UTILIZADO PARA A OBTENÇÃO DOS DADOS

Em cada ponto demarcado foram realizadas medições a 15 metros perpendiculares ao eixo da pista para emissão, e as características dos equipamentos seguem as recomendações da norma brasileira NBR-10.151/2000.

Simultaneamente às medições, foi realizada a contagem de veículos. Para isso, precisou-se da colaboração de, no mínimo, três pessoas, pois o fluxo nessa grande avenida é intenso, e uma pessoa não faria a contagem com precisão. Cada

medição teve duração mínima de 10 minutos, efetuada com o analisador sonoro tipo BK-2260, e medições de duração mínima de 15 minutos com os medidores sonoros tipo BK-2238, e tipo BK-2237. As medições foram realizadas no modo de resposta *fast* e na curva de ponderação A, em uma faixa dinâmica de 40 a 140 dB(A).

Os dados coletados para a realização deste trabalho foram: nível sonoro equivalente médio na curva de ponderação A ( $L_{eq}$ ), dado obtido pelo próprio aparelho; a contagem dos veículos, separando-os por categorias, realizada pela autora da presente pesquisa e pelos alunos de mestrado e iniciação científica. A velocidade da avenida foi obtida pela média entre a velocidade permitida e a observada em campo, percorrendo o trecho de carro para constatar a média de velocidade.

As medições foram todas feitas no período diurno compreendido entre 9h e 11h para o período da manhã, e entre 14h e 16h30 para o período da tarde, em dias úteis, evitando-se os horários de tráfego intenso, cuja intensidade em horários de pico não fez parte da pesquisa. Os dados obtidos foram coletados no período de 120 dias, entre os meses de agosto e novembro de 2012.

Segundo a NBR10151/2000, o tempo de medição tempo deve ser suficiente para caracterizar o ruído em estudo, por meio de uma única medição ou uma seqüência de medições. Em estudo similar sobre o ruído de tráfego rodoviário, encontram-se tempos de medições que variam entre segundos e horas (GUEDES *et.al.*, 2011; MIODUSZEWSKI *et.al.*, 2011; ZANNIN & SANT'ANA, 2011; FIEDLER 2013).

Na literatura, nota-se que medições de curta duração podem esconder alguma informação relevante ao estudo, porém é possível realizar um grande número de medições em um tempo relativamente menor e ainda obter resultados iguais aos medidos com uma longa duração de tempo. Por esta razão, a escolha do tempo de medição variou entre 10 a 15 minutos, baseada em diversos estudos publicados na literatura mundial. (GOLMOHAMMADI *et.al.*, 2009; IZUMI & YANO, 1991; CHO *et.al.*..., 2004; LAWRENCE & BURGESS, 1980; UTLEY, 1982; FIEDLER 2013).

Antes da realização das medições, é necessário que os aparelhos estejam calibrados para que a precisão dos resultados dos medidores seja confiável. (BRUEL E KJAER 2000).

Os equipamentos, classificados em classe 1, segundo IEC 60651, utilizados na realização das medições sonoras e desenvolvimento de toda a pesquisa foram:

- ✚ 1 medidor sonoro tipo BK-2237
- ✚ 1 medidor sonoro tipo BK-2238
- ✚ 1 analisador sonoro tipo BK-2260
- ✚ 1 calibrador modelo BK 4231
- ✚ Software Noise Explorer modelo 7815, utilizado para o descarregamento de dados
- ✚ Software de Análise *Predictor*® 8.11 modelo 7810, para a confecção dos mapas acústicos.

Durante as medições, juntamente com o aparelho de medição, foi acoplado um protetor de vento (*windscreen*), para evitar a interferência desse elemento nos resultados. O cálculo dos níveis sonoros equivalentes e estatísticos é realizado internamente de maneira automática pelos medidores de níveis de pressão sonora BK-2237, BK-2238 e BK-2260, os quais obedecem à Norma Brasileira 10.151 (2000) – Avaliação do Ruído em áreas habitadas visando ao conforto em comunidade.

A composição do tráfego bem como seu fluxo não são parâmetros controláveis, por isso optou-se por escolher diferentes dias da semana para a coleta dos dados e realização das medições em diferentes horários. Como a variação dos parâmetros de entrada não foi significativa, observou-se que o fluxo e a composição do tráfego variavam muito pouco em função do horário e do dia da semana, por isso a medição nunca foi realizada em horários de pico.

O tráfego rodoviário é o deslocamento de diversos veículos, em diferentes velocidades e distanciados entre si de maneira aleatória. Individualmente existe uma fonte sonora pontual, porém, na condição de tráfego contínuo como em rodovias, observa-se em cada trecho analisado o comportamento de uma fonte sonora linear constante (STEELE, 2001).

Foram adotados os limites determinados pela lei n.º10.625, da Prefeitura Municipal de Curitiba (PMC), para a realização da análise dos resultados das qualificações acústicas.

Para realizar a calibração do *software*, são necessários alguns dados de entrada para uma simulação mais próxima da situação real, dentre elas, as informações topográficas, como se vê na FIGURA 13, das imediações dos trechos a serem considerados, dado este obtido por meio da base de dados denominada Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC. Esses dados foram importados para o software

*Predictor*® por meio de arquivos de Sistema de Informações Geográficas – SIG, disponíveis em mídia digital.

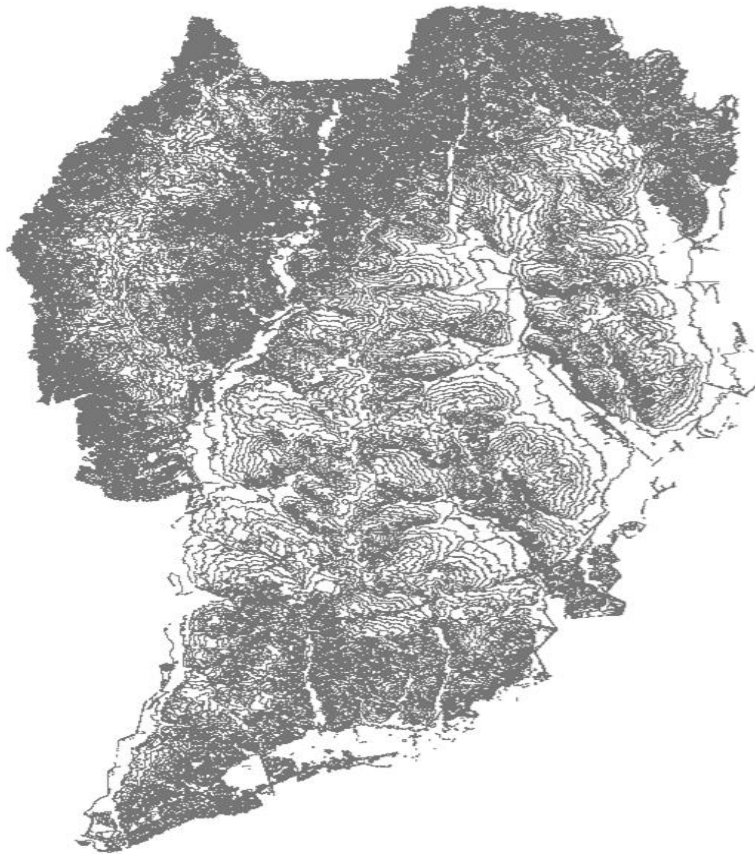


FIGURA 13 - TOPOGRAFIA COM CURVAS DE 5 EM 5 METROS DA CIDADE DE CURITIBA IMPORTADAS NO SOFTWARE PREDICTOR®  
FONTE: A AUTORA, (2013)

Outro dado necessário para a calibração do software foi o desenho de todas as edificações, realizado manualmente através da comparação com foto de satélite. Para a característica altimétrica, adotaram-se 3 metros para cada pavimento observado em cada edificação. Para que o *Predictor*® gere os mapas acústicos de interesse é necessário delimitá-lo por uma malha contendo os pontos receptores (*grid noisemap*) cuja distância dependerá do objetivo de precisão. Quanto maior a malha (*grid*), menor será a sua precisão e mais rápida será a geração dos mapas. Para Guedes e Leite (2007), a malha não deve ultrapassar 10m x 10m para a confecção de mapas com aglomerações urbanas. Por esse motivo, o tamanho da malha adotada para a realização dos mapas acústicos através do *Predictor*® para esta dissertação foi de 5m x 5m, permitindo um detalhamento dos mapas acústicos.

Além do *grid*, é necessário adicionar a altura de seu cálculo para a realização dos mapas. A altura do *grid* usada nesta dissertação foi de 4m, conforme recomenda a *Environmental Noise Directive (2002/49/EC)*. A FIGURA 14 mostra as edificações digitalizadas no *Predictor®*

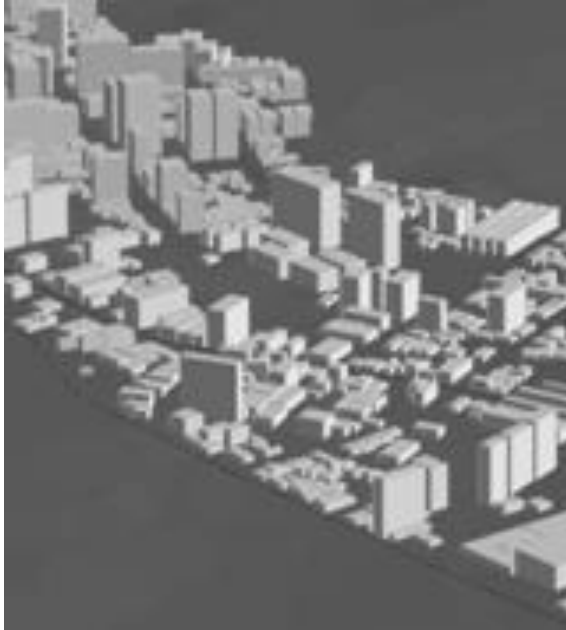


FIGURA 14 - VISUAL 3-D DAS EDIFICAÇÕES DESENHADAS  
FONTE: A AUTORA, (2012)

A observação sobre as condições de cada pista também foi considerada para que pudesse ser feita a escolha correta do pavimento no software *Predictor®*.

As variáveis de entrada usadas para calibração do modelo conseguem ser resumidas ao fluxo e à composição do tráfego, condições da via e velocidade média dos veículos ao longo do trecho analisado. As variáveis de saída são resumidas aos níveis de pressão sonora.

A FIGURA 15 permite uma visualização da área de trabalho do software *Predictor®* e, por meio de uma escala de cores, consegue-se ter uma visão geral do nível de poluição sonora ao longo da via estudada.



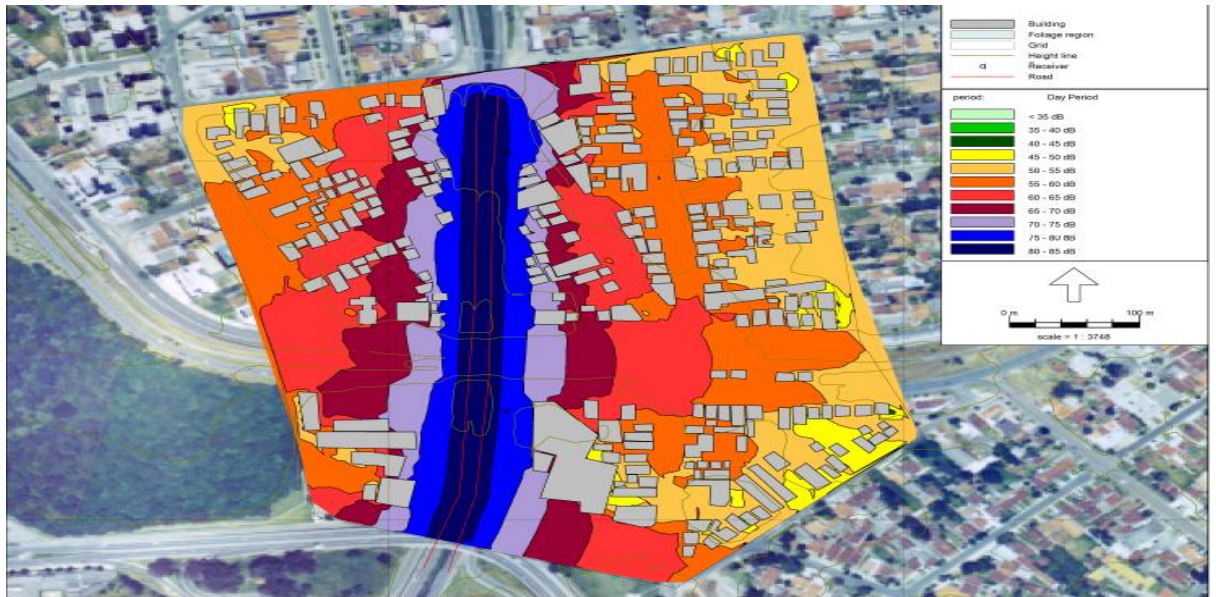


FIGURA 15 - MAPA DE RUÍDO CALCULADO NO SOFTWARE *PREDICTOR*®, LOCALIZADO NA LINHA VERDE  
 FONTE: A AUTORA, (2013)

Por meio da fotografia apresentada na FIGURA 16, é possível entender as condições dos locais das medições, como a exposição ao vento, poeira, sem acostamento seguro e sujeito a precipitações ou sol intenso.



FIGURA 16 - MEDIÇÃO REALIZADA NO TRECHO NORTE DA LINHA VERDE  
 FONTE: A AUTORA, (2012)

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo será mostrado o comportamento acústico no entorno do trecho urbano da Linha Verde Norte (LVN), utilizando-se de medições do nível de pressão sonora equivalente (Leq) e de simulações computacionais realizadas com o software *Predictor*® 8.11. Foram avaliados 25 pontos ao longo dos 10.500m da LVN, subdivididos em 6 lotes. A localização dos lotes e os pontos de medição que os compõem são apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 - DEFINIÇÃO DOS LOTES E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO.

Lote	Pontos de medição	Localização		Observação
		Local de Início	Local de Término	
1	3 e 4	Centro Politécnico	Rua Governador Agamenon Magalhães	
2	5 a 9	Rua Del Leopoldo Belczak	Rua Coronel Iraze Paes Brasil	Trecho em obras
3	10 a 13	Viaduto Victor Ferreira do Amaral	Rua Anibal Goulart Maia Filho	Próximo ao Jockey Clube
4	14 e 15	Em frente ao Hospital Vita	Avenida Caviúna	Próximo ao Hospital Vita
5	16 a 18	Avenida Copaíba	Rua Artur Julião da Silva	
6	19 a 25	Viaduto do BairroAlto, em Curitiba	Trevo do Atuba	

FONTE: A AUTORA (2013)

As análises a serem apresentadas levaram em consideração o volume e a velocidade do tráfego de veículos, além do número e as dimensões das construções.

Para cumprir os objetivos desta dissertação foram realizadas sete análises computacionais:

- ✚ Análise I – Calibração do modelo desenvolvido, através da comparação dos dados medidos com os simulados;
- ✚ Análise II – Verificação da condição atual da LVN;
- ✚ Análise III – Avaliação da variação do fluxo do tráfego de veículos pesados no lote 1;

- ✚ Análise IV – Avaliação da variação do fluxo do tráfego de veículos leves e pesados no lote 1;
- ✚ Análise V – Avaliação da variação do fluxo de veículos pesados e com a diminuição da velocidade de tráfego nos lotes 3, 4 e 5;
- ✚ Análise VI – Predições para os próximos 20 anos;
- ✚ Análise VII – Análise hipotética de uma condição ideal de tráfego para o Lote 5 e
- ✚ Análise VIII – Ruído de fachada.

#### 4.1 ANÁLISE I – CALIBRAÇÃO DO MODELO DESENVOLVIDO ATRAVÉS DA COMPARAÇÃO DOS DADOS MEDIDOS COM OS SIMULADOS

Primeiramente, para aferição dos modelos computacionais, foi verificado o número de veículos automotores (leves, pesados e motocicletas) trafegando na LVN, e medido o Leq ao longo dos 25 pontos no período diurno. O objetivo desta primeira análise é aferir o aplicativo computacional a ser utilizado nesta dissertação. O resultado do número de veículos por hora é mostrado na TABELA 7, e o Leq medido, na TABELA 8. A composição do tráfego é um fator de suma importância para a análise de impacto ambiental sonoro porque afeta diretamente a geração do ruído na área em estudo. Além disso, é um dos dados de entrada para as simulações computacionais dos níveis de poluição sonora.

Para esclarecimento do leitor, de acordo com a resolução n.º 15 de 1985 do CONAMA, definem-se aqui veículos leves como os veículos para transporte de passageiros ou de carga ou de uso misto com massa inferior a 3856 kg, e os veículos pesados, com massa superior a 3856 kg.



TABELA 7 - NÚMERO DE VEÍCULOS NOS PONTOS DE MEDIÇÃO POR HORA

Pts	Veículos			Total hora	Pts	Veículos			Total hora
	Leves*	Motocicletas	Pesados			Leves*	Motocicletas	Pesados	
<b>3</b>	2800	279	300	3379	<b>16</b>	2824	398	222	3444
<b>4</b>	2800	279	300	3379	<b>17</b>	2238	438	196	2872
<b>5</b>	2222	241	350	2813	<b>18</b>	2222	367	215	2804
<b>6</b>	2222	241	350	2813	<b>19</b>	2238	438	196	2872
<b>7</b>	2222	241	350	2813	<b>20</b>	2086	431	197	2714
<b>8</b>	2222	241	350	2813	<b>21</b>	2130	345	211	2686
<b>9</b>	2222	241	350	2813	<b>22</b>	1938	420	174	2532
<b>10</b>	2251	218	279	2748	<b>22 md</b>	1192	168	204	1564
<b>11</b>	2251	218	279	2748	<b>22 me</b>	1264	156	288	1708
<b>12</b>	2420	218	212	2850	<b>23</b>	1624	136	364	2124
<b>13</b>	2550	222	318	3090	<b>24</b>	792	108	124	1024
<b>14</b>	2824	398	216	3438	<b>25</b>	2200	367	220	2787
<b>15</b>	2824	398	216	3438					

FONTE: A AUTORA (2013)

\* exceto motocicletas; md = marginal direita; me = marginal esquerda.

TABELA 8 - LEQ MEDIDO E SIMULADO

Pontos de Medição	Leq em dB(A)		Diferença entre a medido e o simulado em dB(A)
	Medido	Simulado	
1	72,9	76,8	-3,9
2	72,8	76,2	-3,4
3	78	77,2	0,8
4	77,9	79,5	-1,6
5	76,5	74,8	1,7
6	77,8	76,6	1,2
7	80,8	80,5	0,3
8	72,1	74,2	-2,1
9	78,2	76,1	2,1
10	78,9	78,3	0,6
11	77,2	76,5	0,7
12	77,0	76,8	0,2
13	77,9	77,4	0,5
14	77,5	77,7	-0,2
15	80,1	78,4	1,7
16	79,1	81,0	-1,9
17	77,8	78,4	-0,6
18	72,8	73,8	-1
19	75,1	77,3	-2,2
20	76,1	76,6	-0,5
21	72,9	76,7	-3,8
22	78,4	77,8	0,6
23	72,9	76,8	-3,9
24	72,8	76,2	-3,4
25	78	77,2	0,8

FONTE: A AUTORA (2013)

A FIGURA 17 mostra a composição do tráfego em números percentuais de acordo com os resultados apresentados na TABELA 7.

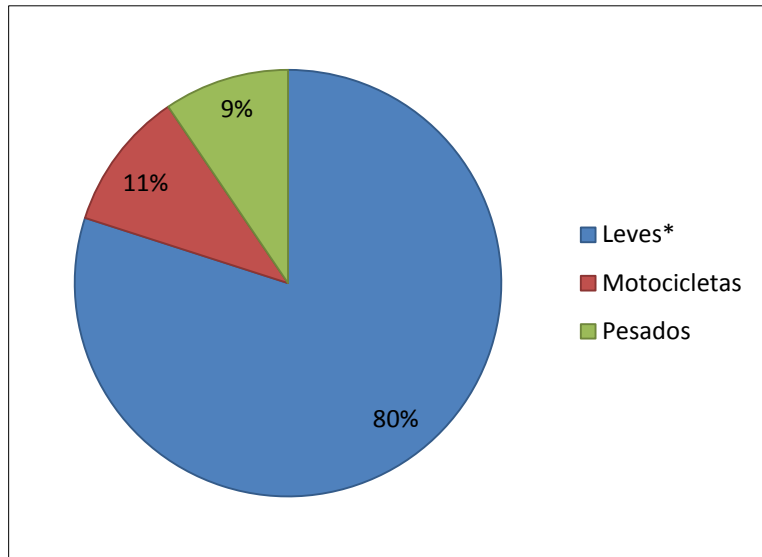


FIGURA 17 - COMPOSIÇÃO PERCENTUAL DO TRÁFEGO POR HORA  
 FONTE: A AUTORA (2013)  
 (\*exceto motocicletas).

Conforme a TABELA 8, verifica-se que os valores para o  $Leq$  variam entre de 72,1 e 80,8 dB(A) e os resultados provenientes da simulação computacional por meio do *Predictor*® variam entre 73,8 e 81,0 dB(A). A diferença observada entre os dois resultados é inferior a 3,9 dB(A), como recomenda a WG-AEN (2006) que considera até  $\pm 4,6$  dB(A), para que o modelo esteja com boa calibração. Após este momento, os valores calculados pelo *Predictor*® são considerados confiáveis e assim é possível realizar diversas manipulações dos dados, pois os valores estão muito próximos dos valores calculados.

#### 4.2 ANÁLISE II – VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES ATUAIS DA LVN.

Os resultados das simulações do  $Leq$  no entorno da LVN retratando a condição atual são mostrados por mapas acústicos nas FIGURAS 18 a 24. Com esses mapas é possível analisar cada ponto de medição e ainda entender o comportamento do nível de ruído sobre a comunidade. Optou-se pela divisão LVN em vários mapas, para facilitar sua análise e seu entendimento.

Os resultados das simulações computacionais nas imediações da rodovia e nas fachadas das edificações e seus comparativos, com os limites de ruído

estabelecidos na Lei Municipal n.º 10.625 e na norma NBR 10151, também são mostrados na TABELA 9. Esses limites para o período diurno são de 60 dB(A) e 65 dB(A), respectivamente. Ressalta-se aqui que esses limites foram excedidos ao longo dos 6 lotes. Entretanto, o Lote 2 estava em obras e a Lei Municipal 10.625, em seu anexo 2, determina que, para esses casos, o valor limite de ruído permitido seja elevado para 90 dB(A).

TABELA 9 - VELOCIDADE MÉDIA DAS SIMULAÇÕES

Lote	Pontos de medição	Velocidade Média (km/h)		Leq em dB(A)		Prerrogativas atendidas	
		Veículos Leves	Veículos Pesados	Nas imediações da rodovia	Nas fachadas das edificações	Lei n.º 10.625	NBR 10151
1	3 e 4	60	50	80 a 85	75 a 80	Não	Não
2	5 a 9	60	50	80 a 85	75 a 80	Sim	N.A.
3	10 a 13	80	70	80 a 85	75 a 80	Não	Não
4	14 e 15	60	50	80 a 85	75 a 80	Não	Não
5	16 a 18	75	65	80 a 85	75 a 80	Não	Não
6	19 a 25	50* e 100	40* e 80	80 a 85	80 a 85	Não	Não

FONTE: A AUTORA (2013)

Os níveis de ruído nos mapas acústicos são representados por uma escala de cores. Para um melhor entendimento dos mapas, a FIGURA 18 mostra a legenda de forma ampliada.

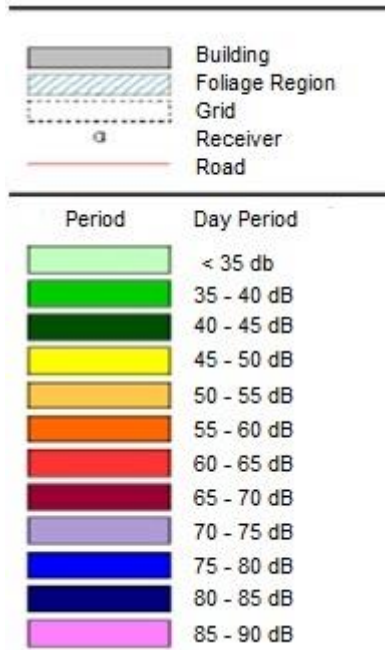


FIGURA 18 - LEGENDA – ESCALA DE CORES  
 FONTE: A AUTORA (2013).

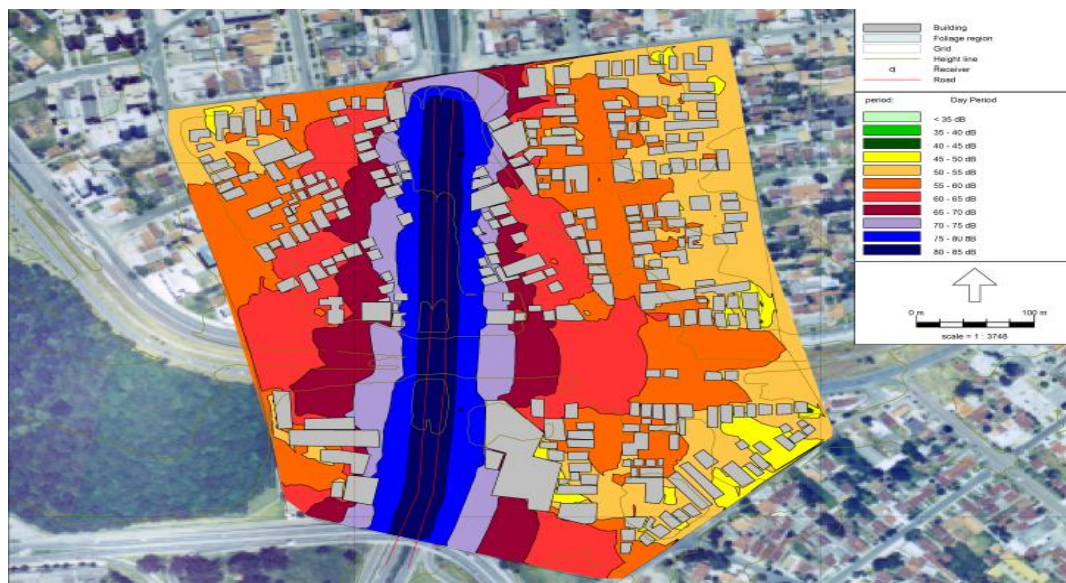


FIGURA 19 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 1  
 FONTE: A AUTORA (2013)





FIGURA 20 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 2  
 FONTE: A AUTORA (2013)

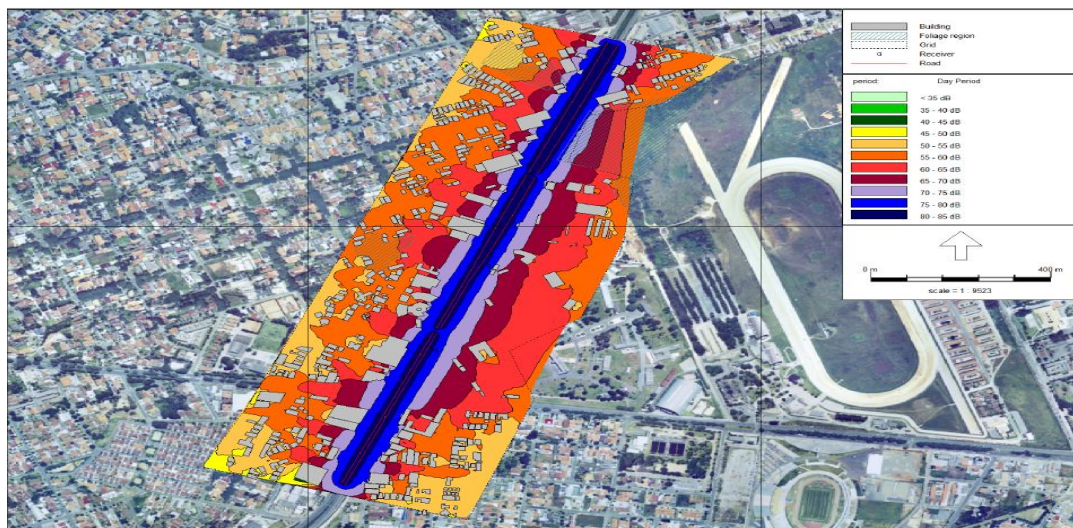


FIGURA 21 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 3  
 FONTE: A AUTORA (2013)



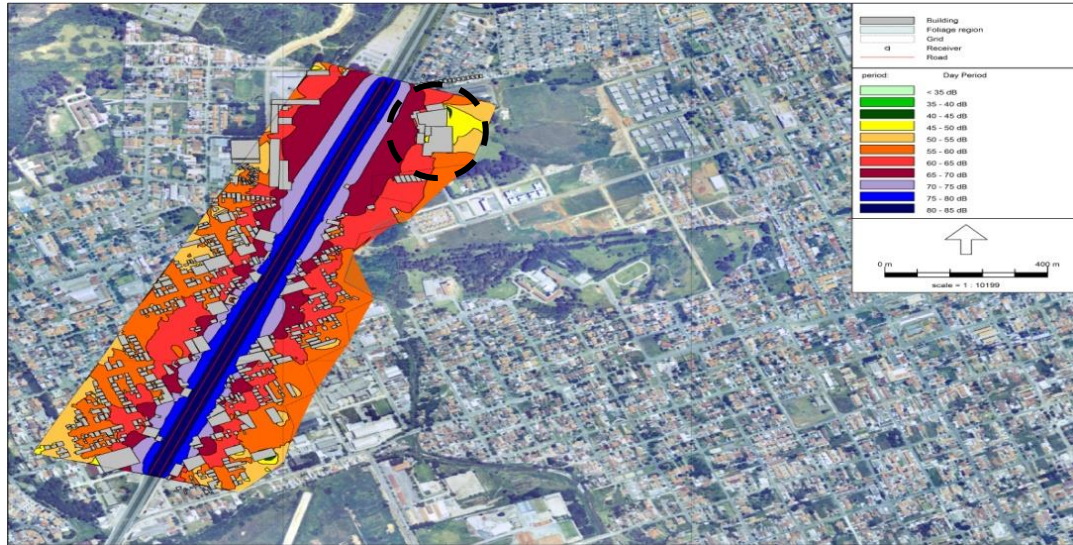


FIGURA 22 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 4  
FONTE: A AUTORA (2013)

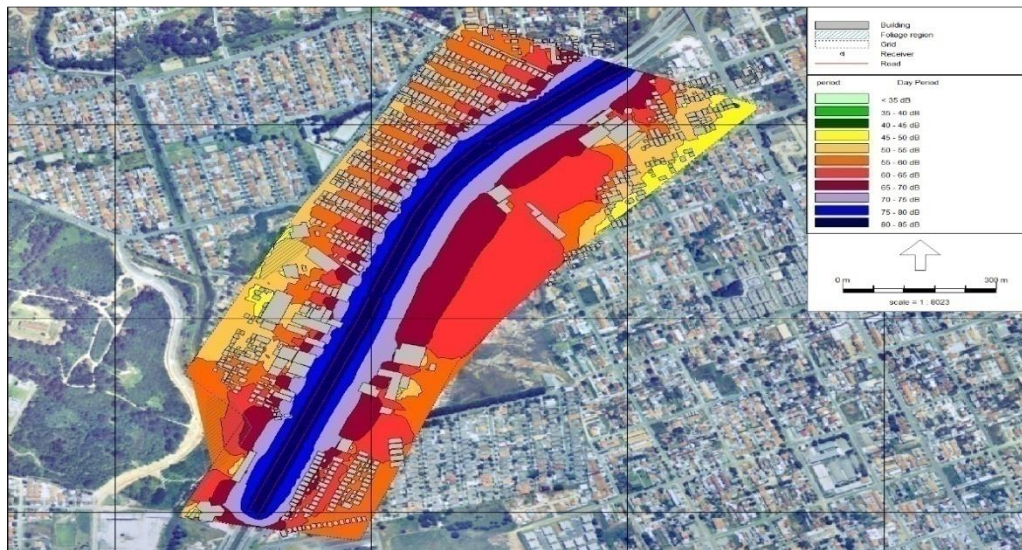


FIGURA 23 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 5  
FONTE: A AUTORA (2013)

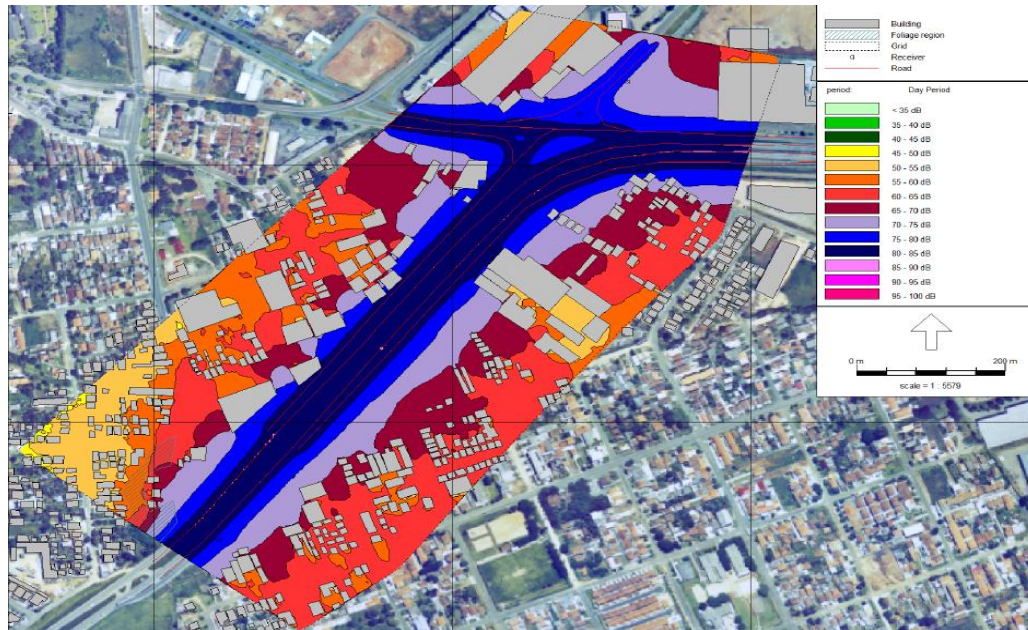


FIGURA 24 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL (LEQ) PARA LOTE 6  
 FONTE: A AUTORA (2013)

Nos mapas acústicos apresentados anteriormente, conclui-se que os níveis de ruído no entorno da LVN estão acima dos limites estabelecidos pela LM e NBR, região representada pelas cores azul-marinho, azul escuro, roxo, vermelho escuro e vermelho claro. Um agravante para o problema é visualizado na região demarcada com um círculo tracejado da FIGURA 1822, onde se localiza o Hospital Vita. Essa área é definida como zona de silêncio e tem seu limite estabelecido em 55 dB(A) e 50 dB(A), conforme a LM e NBR, respectivamente. Além disso, a LM prevê obediência ao limite em uma distância de 200 metros de raio.

#### 4.3 ANÁLISE III – AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FLUXO DO TRÁFEGO SOMENTE DE VEÍCULOS PESADOS

Nesta etapa foi avaliado o comportamento do nível de ruído (Leq em dB(A)) com 50%, 40%, 30%, 20% e 10% do número de veículos pesados em relação ao tráfego original. Além disso, também será avaliado o nível de ruído com a exclusão dos veículos pesados. Essa avaliação somente foi realizada nos pontos 3 e 4 pertencentes ao lote 1. A FIGURA 25 mostra o comparativo entre o nível de ruído



original (100%) e o nível de ruído decorrente da redução do tráfego de veículos proposta por esta etapa. Para essas simulações, a velocidade média dos veículos permanece inalterada, de acordo com a condição original apresentada na TABELA 9.

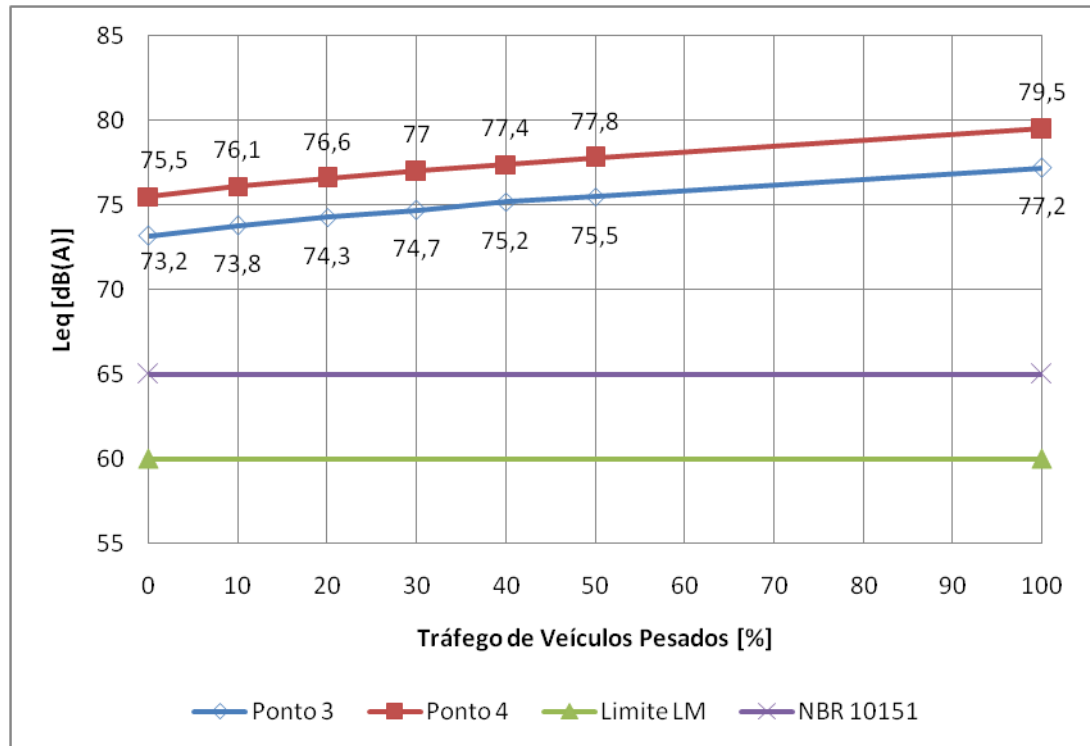


FIGURA 25- COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS PESADOS  
 FONTE: A AUTORA (2013)

Os resultados das simulações do Leq no entorno da LVN retratando esta condição são mostrados pelos mapas acústicos nas FIGURAS 26 a 31.

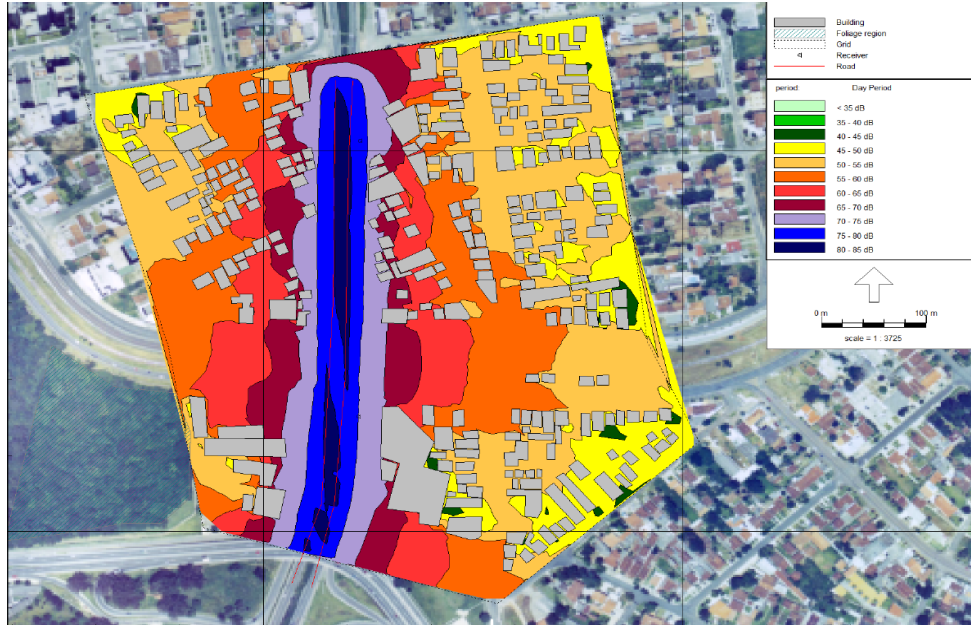


FIGURA 26 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 50% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS.  
FONTE: A AUTORA (2013)

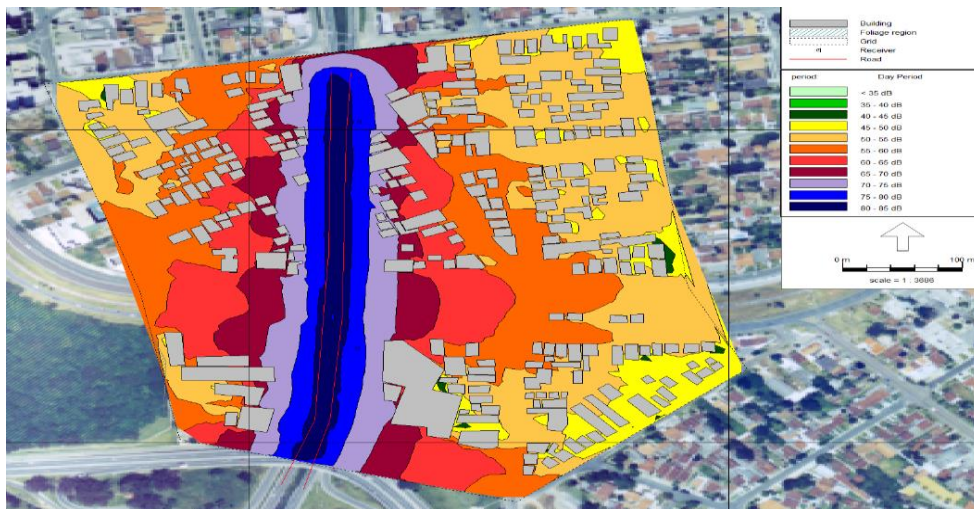


FIGURA 27 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 40% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS  
FONTE: A AUTORA (2013)

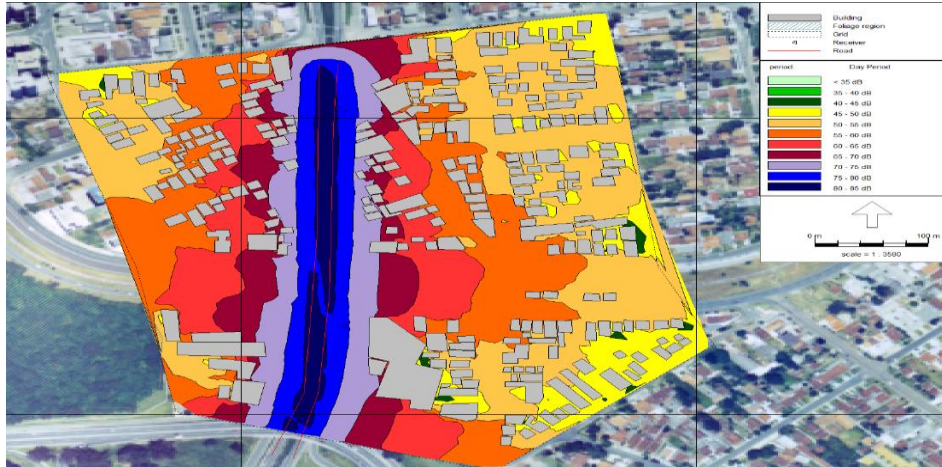


FIGURA 28 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 30% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS  
FONTE: A AUTORA (2013)



FIGURA 29 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 20% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS  
FONTE: A AUTORA (2013)



FIGURA 30 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 10% DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS  
FONTE: A AUTORA (2013)



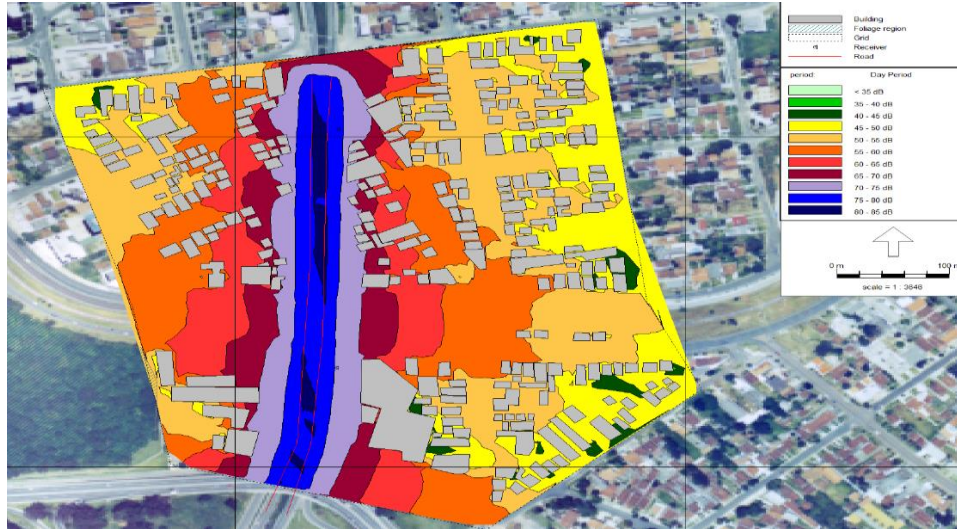


FIGURA 31 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM EXCLUSÃO DO TRÁFEGO DE VEÍCULOS PESADOS  
FONTE: A AUTORA (2013)

#### 4.4 ANÁLISE IV – AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FLUXO DE TRAFEGO (VEÍCULOS LEVES E PESADOS)

Continuando a análise da seção 5.3, para os pontos 3 e 4 pertencentes ao lote1, será avaliado o comportamento do nível de ruído ( $L_{eq}$  em dB(A)) com a variação do número de veículos leves e pesados. Esta variação tem como objetivo simular uma diminuição dos veículos na rua com uma suposta implantação de rodízio de veículos. Nesta etapa, as avaliações serão realizadas com 50%, 40%, 30%, 20% e 10% do número de veículos em relação ao tráfego original. A FIGURA 32 mostra o comparativo entre o nível de ruído original (100%) e o nível de ruído decorrente da redução do tráfego de veículos proposta por esta etapa. Para essas simulações, a velocidade média dos veículos permanece inalterada, de acordo com a condição original apresentada na TABELA 7. Os resultados das simulações do  $L_{eq}$  no entorno da LVN retratando esta condição são mostrados pelos mapas acústicos nas FIGURAS 33 a 37.

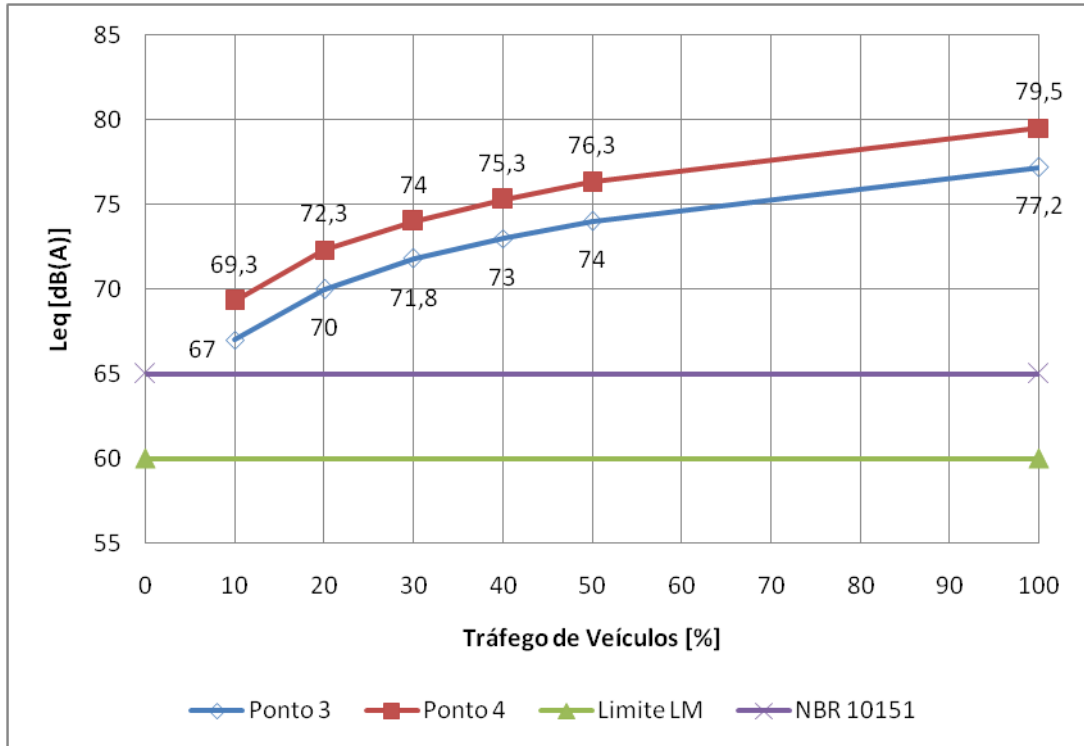


FIGURA 32 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS  
 FONTE: A AUTORA (2013)

Nesta análise observa-se que, reduzindo o tráfego de veículos leves e pesados em até 90%, redução utópica, o nível de ruído ainda permanece acima dos limites LM e pela norma NBR. Isso mostra que a redução desse tráfego é uma tentativa frustrada de alcançar os limites da legislação.

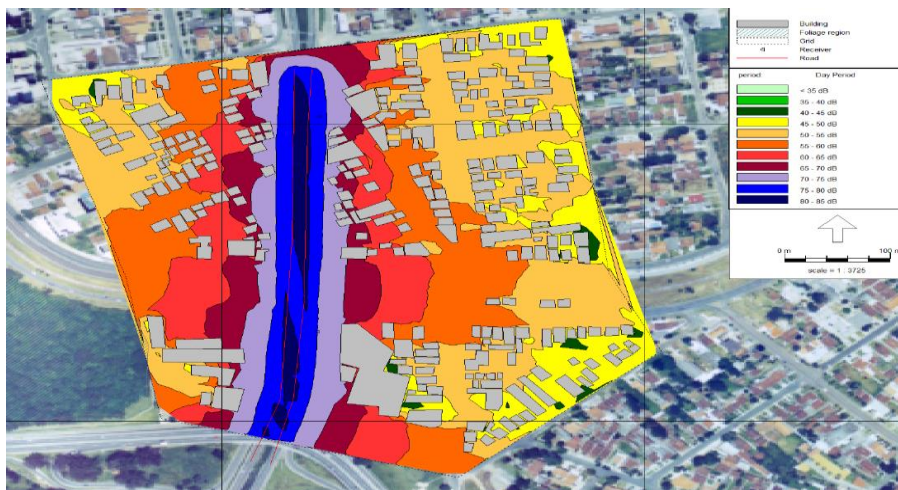


FIGURA 33 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 50% DO TRÁFEGO  
 FONTE: A AUTORA (2013)

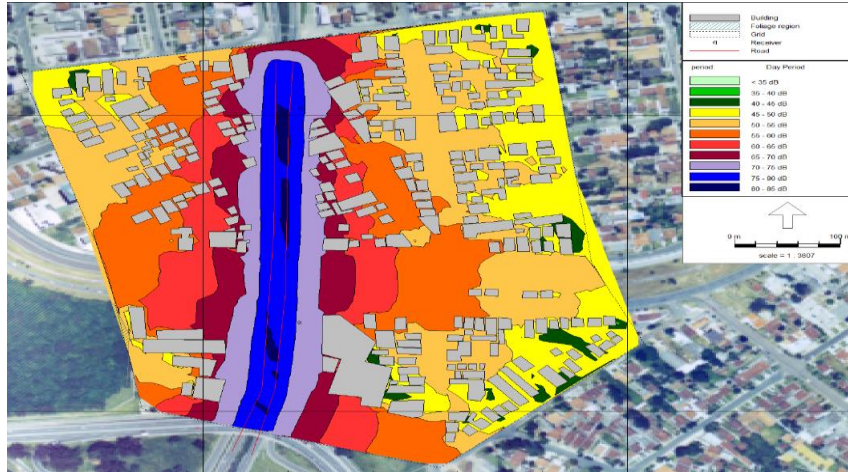


FIGURA 34 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 40% DO TRÁFEGO  
 FONTE: A AUTORA (2013)



FIGURA 35 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 30% DO TRÁFEGO  
 FONTE: A AUTORA (2013)

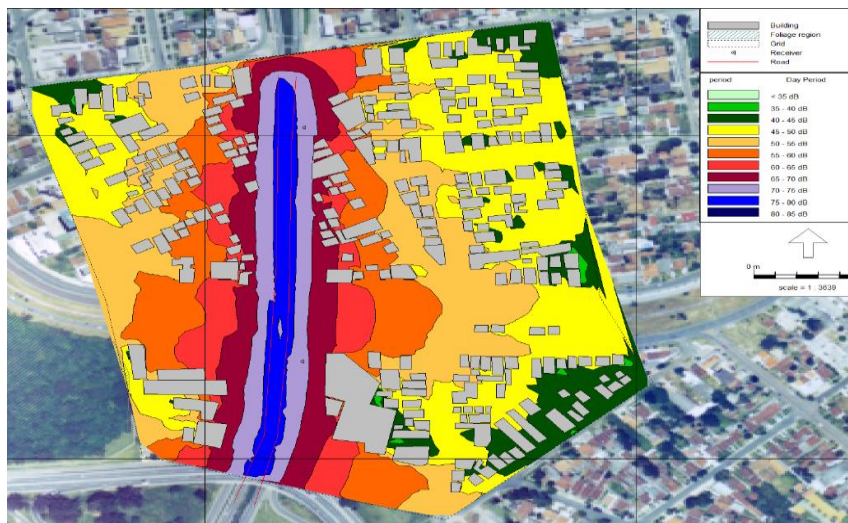


FIGURA 36 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 20% DO TRÁFEGO  
 FONTE: A AUTORA (2013)



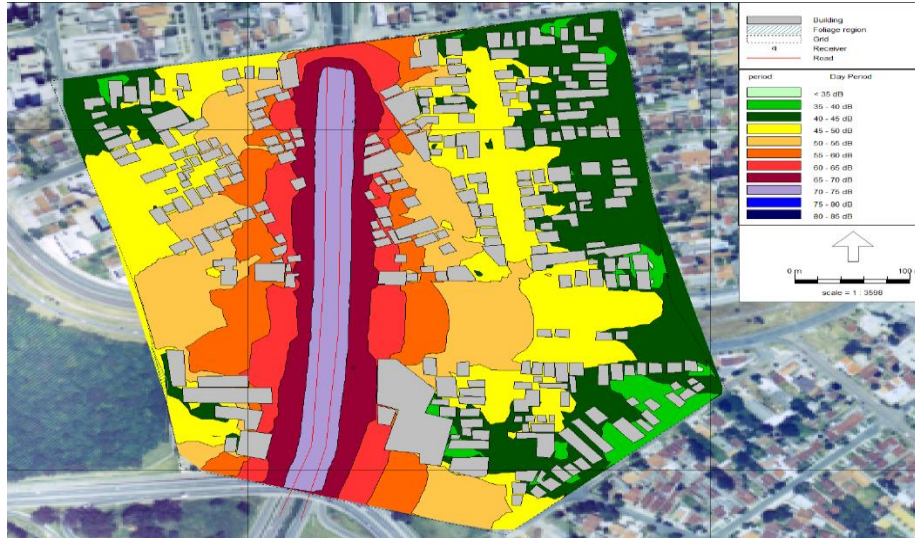


FIGURA 37 - RESULTADO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM 10% DO TRÁFEGO  
 FONTE: A AUTORA (2013)

#### 4.5 ANÁLISE V – AVALIAÇÃO DA VARIAÇÃO DO FLUXO DE VEÍCULOS PESADOS E A DIMINUIÇÃO DA VELOCIDADE DE TRÁFEGO NOS LOTES 2, 3 E 5

Nesta etapa será avaliado o comportamento do nível de ruído em dB(A) com a diminuição da velocidade de tráfego dos veículos leves e pesados. Estas análises serão realizadas juntamente com a redução do número de veículos pesados trafegando na LVN da mesma forma realizada na seção 5.2. Essa avaliação somente será realizada nos lotes 2 (pontos 5 a 9), lote 3 (pontos 10 ao 13) e lote 5 (pontos 16 ao 18). Essa escolha dos lotes foi realizada de forma aleatória.

A TABELA 10 mostra os resultados do nível de ruído simulado computacionalmente, em todos os pontos do lote 2, somente reduzindo o percentual de tráfego dos veículos pesados e mantendo-se as velocidades dos veículos leves (vl) e pesados (vp) em 60 e 50 km/h, respectivamente. A TABELA 11 mostra essa mesma análise, incluindo a redução da velocidade dos veículos leves e pesados para 40 km/h. A FIGURA 38 mostra um comparativo dos resultados, considerando a média do nível de ruído para o lote 2.

A análise descrita no parágrafo acima também será aplicada aos lotes 3 e 5, somente diferindo nas velocidades de tráfego. As TABELAS 12, 13, 14 e 15

mostram o nível de ruído simulados para os lotes 3 e 5. As FIGURAS 39 e 40 mostram um comparativo dos resultados considerando a média do nível de ruído para o lote 3 e 5.

TABELA 10 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 2, (VL = 60 KM/H E VP=50 KM/H)

% de veículos pesados trafegando	Nível de Ruído dB(A)					
	5	6	7	8	9	Média
0	70,0	71,9	75,8	69,3	70,8	72,3
10	70,8	72,6	76,6	70,1	71,6	73,0
20	71,4	73,3	77,3	70,7	72,2	73,7
30	72,0	73,9	77,8	71,3	72,8	74,3
40	72,5	74,4	78,3	71,8	73,3	74,8
50	73,4	74,8	78,8	72,3	73,9	75,3
100	74,8	76,6	80,5	74,2	76,1	77,1

FONTE: A AUTORA (2013)

TABELA 11 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 2, (VL = 40 KM/H E VP=40 KM/H)

% de veículos pesados trafegando	Nível de Ruído dB(A)					
	5	6	7	8	9	Média
0	67,9	69,8	73,7	67,2	68,7	70,2
10	69,3	71,2	75,1	68	70,1	71,5
20	70,3	72,2	76,2	69,7	71,1	72,6
30	71,2	73	77	70,5	72	73,4
40	71,9	73,7	77,7	71,2	72,7	74,1
50	72,5	74,4	78,3	71,8	73,3	74,8

FONTE: A AUTORA (2013)



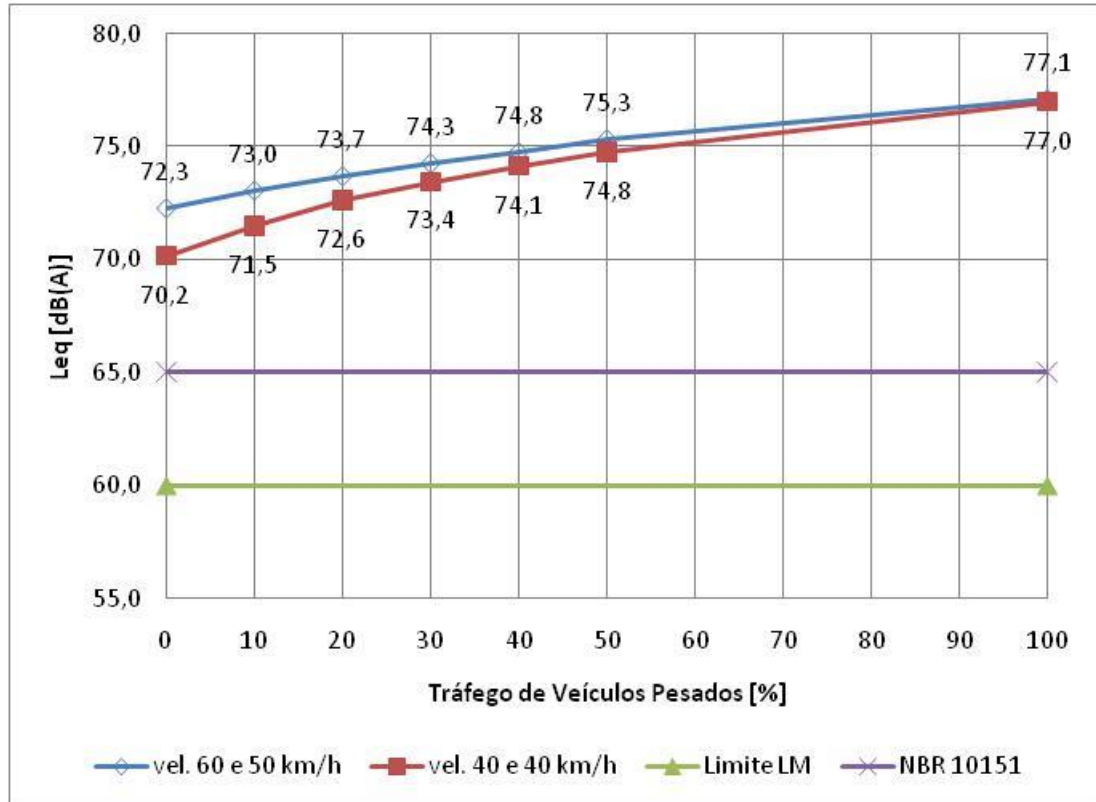


FIGURA 38 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS  
 FONTE: A AUTORA (2013)

TABELA 12 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 3, (VL = 80 KM/H E VP=70 KM/H).

% de veículos pesados trafegando	Nível de Ruído dB(A)				
	10	11	12	13	Média
0	76,4	74,7	75,6	75,3	75,5
10	76,7	75	75,8	75,65	75,8
20	77	75,3	76	75,9	76,1
30	77,3	75,6	76,2	76,2	76,4
40	77,5	75,8	76,4	76,4	76,6
50	77,8	76,1	76,6	76,7	76,8
100	78,8	77,1	77,5	77,8	77,7

FONTE: A AUTORA (2013)

TABELA 13 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 3, (VL = 40 KM/H E VP=40 KM/H)

% de veículos pesados trafegando	Nível de Ruído dB(A)				
	10	11	12	13	14
0	71,7	70,0	70,9	70,6	70,8
10	72,9	71,2	71,8	71,8	72,0
20	73,8	72,1	72,5	72,8	72,8
30	74,6	72,8	73,1	73,5	73,6
40	75,2	73,5	73,7	74,2	74,2
50	75,8	74,0	74,2	74,8	74,8

FONTE: A AUTORA (2013)

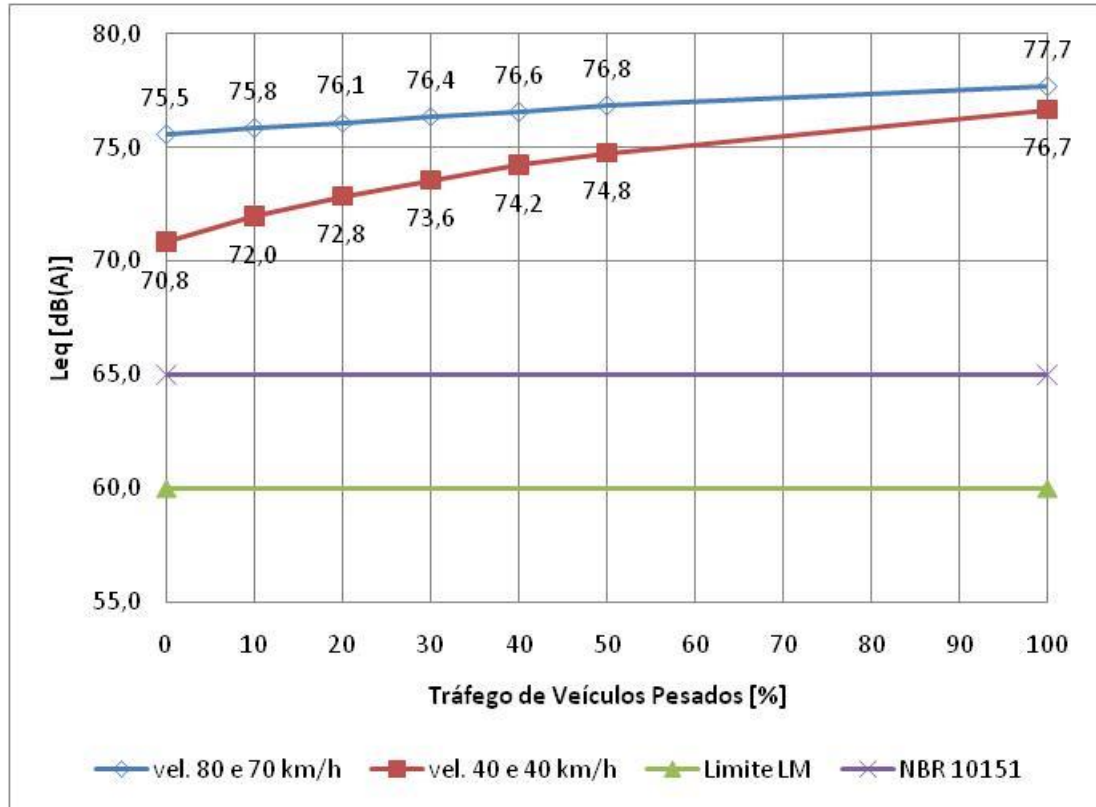


FIGURA 39 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS

FONTE: A AUTORA (2013)

TABELA 14 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 5, (VL = 75 KM/H E VP=65 KM/H)

% de veículos pesados trafegando	Nível de Ruído dB(A)			
	16	17	18	Média
0	80,0	76,1	71,8	77,2
10	80,2	76,3	72,0	77,4
20	80,4	76,5	72,2	77,6
30	80,6	76,7	72,4	77,8
40	80,7	76,8	72,6	77,9
50	80,9	77	72,8	78,1
100	81,1	77,7	73,6	78,5

FONTE: A AUTORA (2013)

TABELA 15 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 5, (VL = 40 KM/H E VP=40 KM/H)

% de veículos pesados trafegando	Nível de Ruído dB(A)			
	16	17	18	Média
0	76,1	72,2	67,8	73,2
10	76,7	72,8	68,6	73,9
20	77,3	73,3	69,2	74,4
30	77,7	73,8	69,7	74,9
40	78,2	74,2	70,2	75,4
50	78,6	74,6	70,6	75,8

FONTE: A AUTORA (2013)

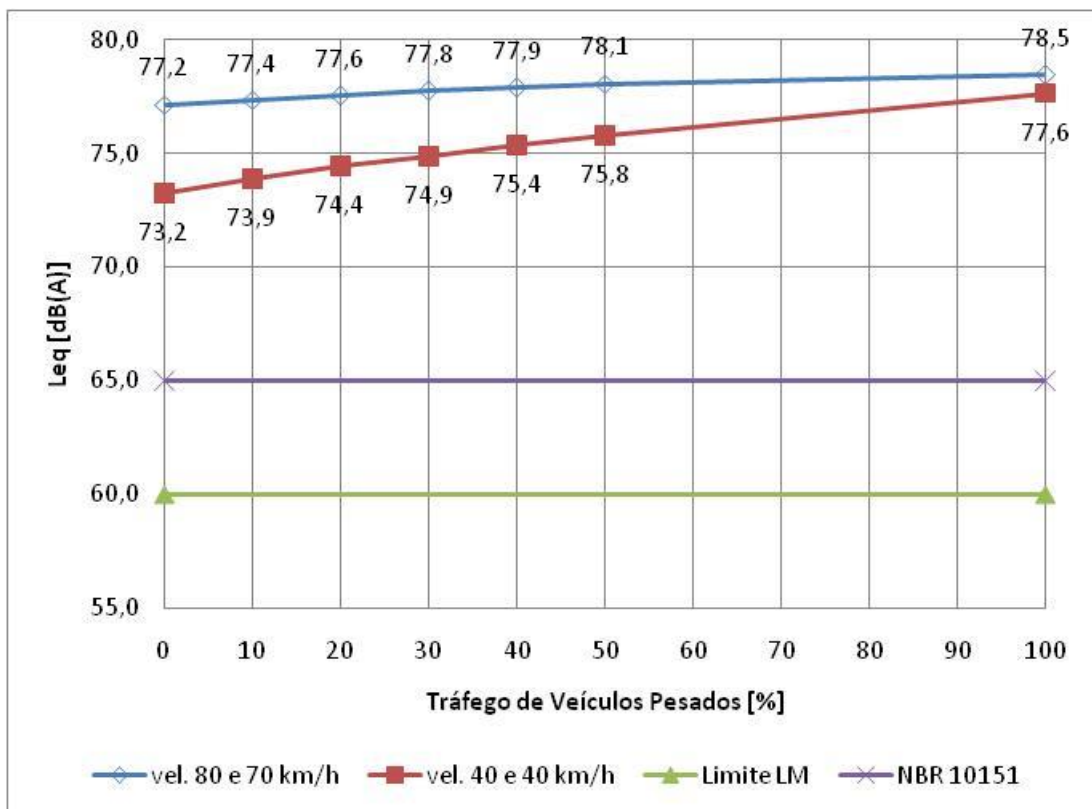


FIGURA 40 - COMPARATIVO DAS SIMULAÇÕES EM FUNÇÃO DA PORCENTAGEM DE VEÍCULOS

FONTE: A AUTORA (2013)

Nessas análises observa-se que, com a redução da velocidade, juntamente com a exclusão do tráfego de veículos pesados, o nível de ruído ainda permanece acima dos limites da LM e da norma NBR para os três lotes avaliados. Além disso,

pode-se notar que as reduções do nível de ruído emitido na rodovia são maiores onde há as maiores reduções na velocidade de tráfego, lotes 3 e 5.

Os mapas acústicos provenientes dessas simulações, por não apresentarem resultados novos, não estão no corpo desta dissertação, porém o leitor pode encontrá-los no apêndice 1.

#### 4.6 ANÁLISE VI – PREDIÇÕES PARA OS PRÓXIMOS 20 ANOS

Nesta seção serão apresentadas as predições do nível de ruído da LVN com a realização de simulações prevendo o aumento no volume do tráfego para os próximos 20 anos. A predição do aumento de veículos será baseada em estatísticas dos cinco últimos anos publicados pelo DENATRAN (2009-13). A TABELA 16 apresenta o número de veículos devidamente emplacados na cidade de Curitiba de 2009 a 2013, tendo com referência o mês de janeiro e a projeção para os próximos 20 anos de acordo com a Eq. 1. A taxa de aumento de veículos emplacados entre 2009 e 2013 utilizada para fazer a projeções futuras é fornecida pela Eq. 2, por meio da simples manipulação da Eq. 1, no caso 4,85% ao ano.

$$N_{vf} = N_{va}(1+tc)^{n-1} \quad (1)$$

onde:

$N_{vf}$  é o número de veículos emplacados no tempo futuro;

$N_{va}$  é o número de veículos emplacados no tempo atual;

$tc$  é a taxa de aumento de veículos emplacados;

$n$  é o intervalo de tempo decorrido em anos entre o tempo atual e o futuro.

$$tc = \sqrt[n]{\frac{N_{vf}}{N_{va}}} - 1 \quad (2)$$

TABELA 16 - NÚMERO DE VEÍCULOS EMPLACADOS

Ano	Número de veículos emplacados
2009	1.138.255
2010	1.194.156
2011	1.250.026
2012	1.315.305
2013	1.375.850

FONTE: A AUTORA (2013)

A TABELA 17 mostra o número de veículos leves e pesados utilizados nas predições futuras. A velocidade de tráfego dos veículos será a mesma das simulações originais. O gráfico da FIGURA 41 mostra a evolução do nível de ruído para os próximos 20 anos.

TABELA 17 - VELOCIDADES E NÚMERO DE VEÍCULOS

Lote	Pontos de medição	Velocidade Média (km/h)		Ano	Número de veículos	
		Veículos Leves	Veículos Pesados		Leves	Pesados
1	3 e 4	60	50	2013	3079	300
				2018	3902	380
				2023	4946	482
				2028	6268	611
				2033	7944	774
4	14 e 15	60	50	2013	3222	216
				2018	4083	274
				2023	5175	347
				2028	6559	440
				2033	8313	557

FONTE: A AUTORA (2013)

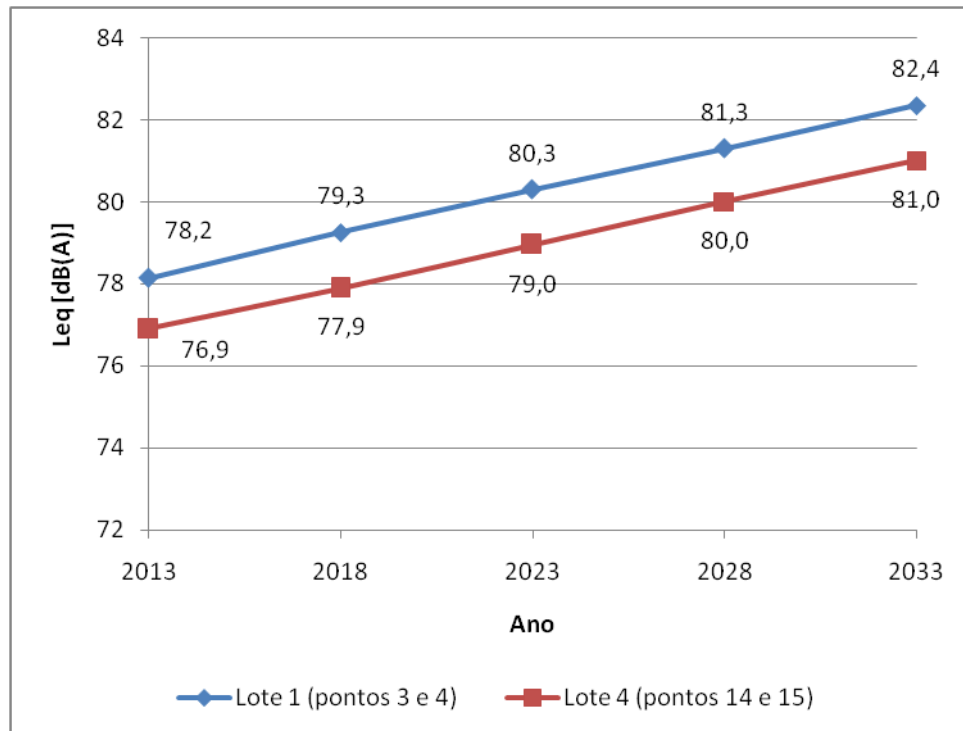


FIGURA 41 - PREDIÇÃO PARA O NÍVEL DE RUÍDO PARA OS PRÓXIMOS 20 ANOS  
 FONTE: A AUTORA (2013)

Observa-se na FIGURA 41 que, apesar de ocorrer um crescimento exponencial no número de veículos, o nível de ruído sofre uma taxa de crescimento quase que constante de 1 dB(A). Com a projeção para os próximos 20 anos, o nível de ruído aumentará para os lotes 1 e 4 em 4,2 e 4,1 dB(A), respectivamente. Esse fato é preocupante, porque o nível de ruído em 2013 já se encontra acima dos limites permissíveis pela LM e pela NBR. Os mapas acústicos para o lote 1 são mostrados nas FIGURAS 42 a 45, e para o lote 4 nas FIGURAS 46 a 49.

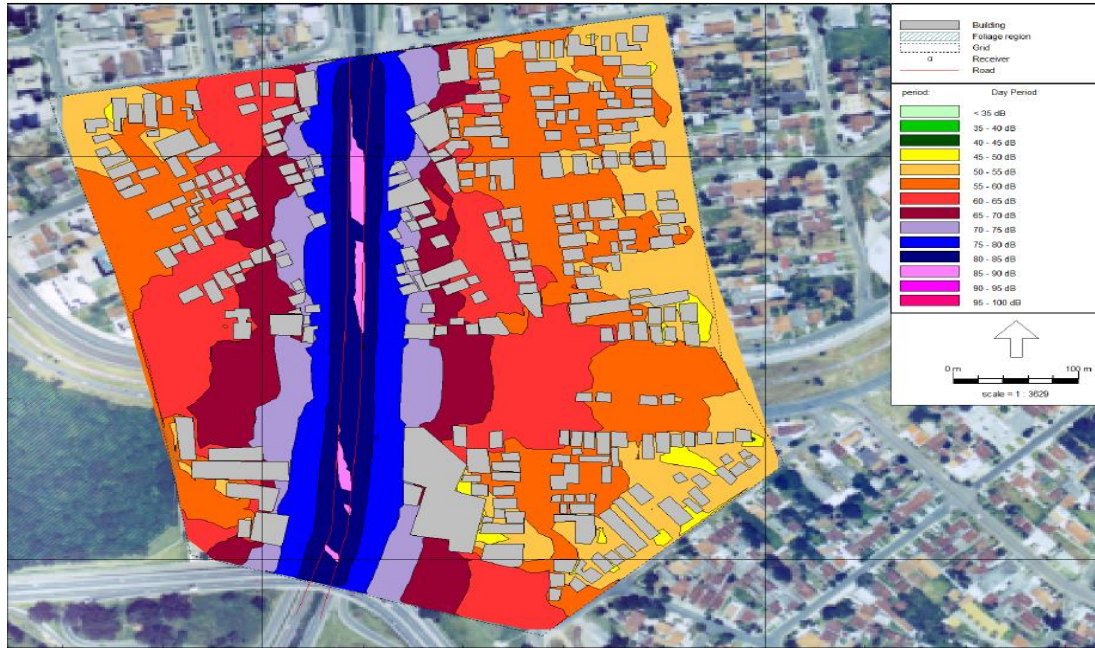


FIGURA 42 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2018  
FONTE: A AUTORA (2013)

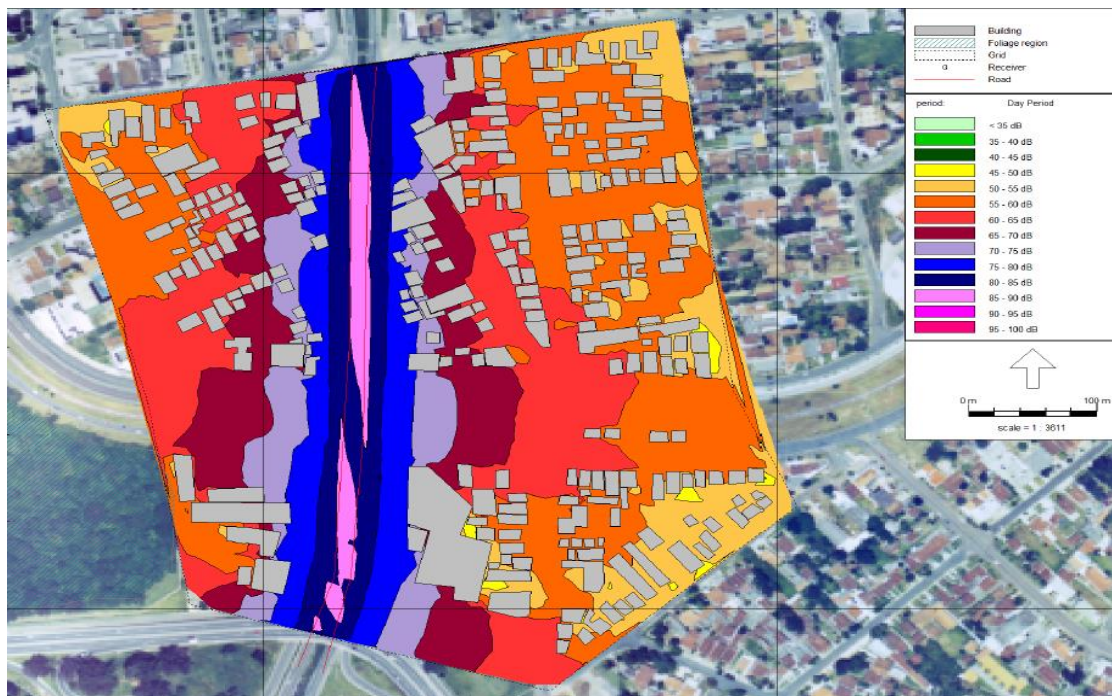


FIGURA 43 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2023  
FONTE: A AUTORA (2013)



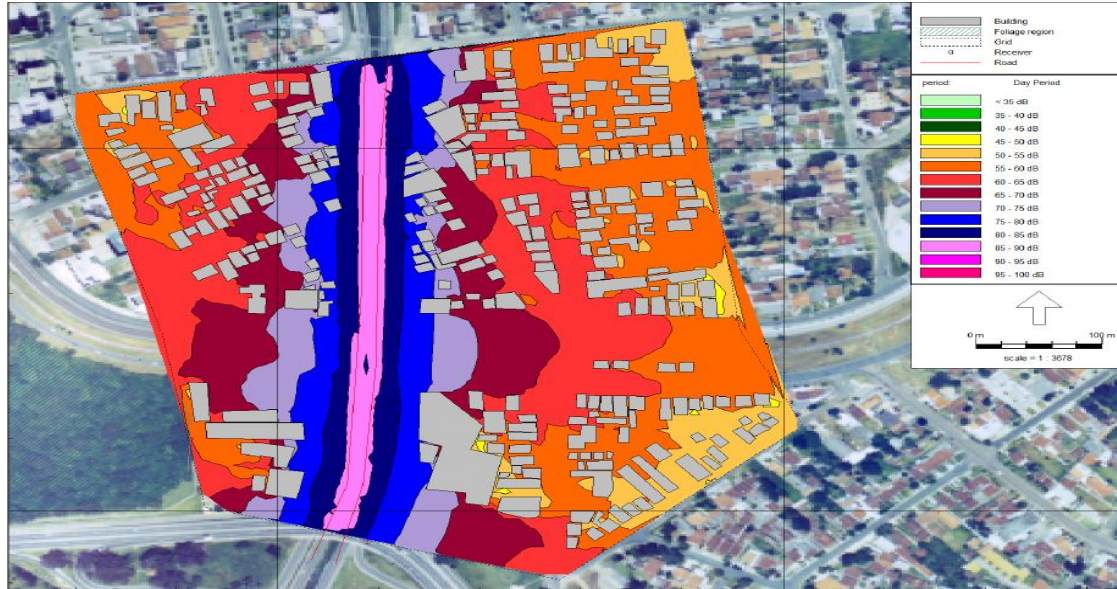


FIGURA 44 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2028  
FONTE: A AUTORA (2013)

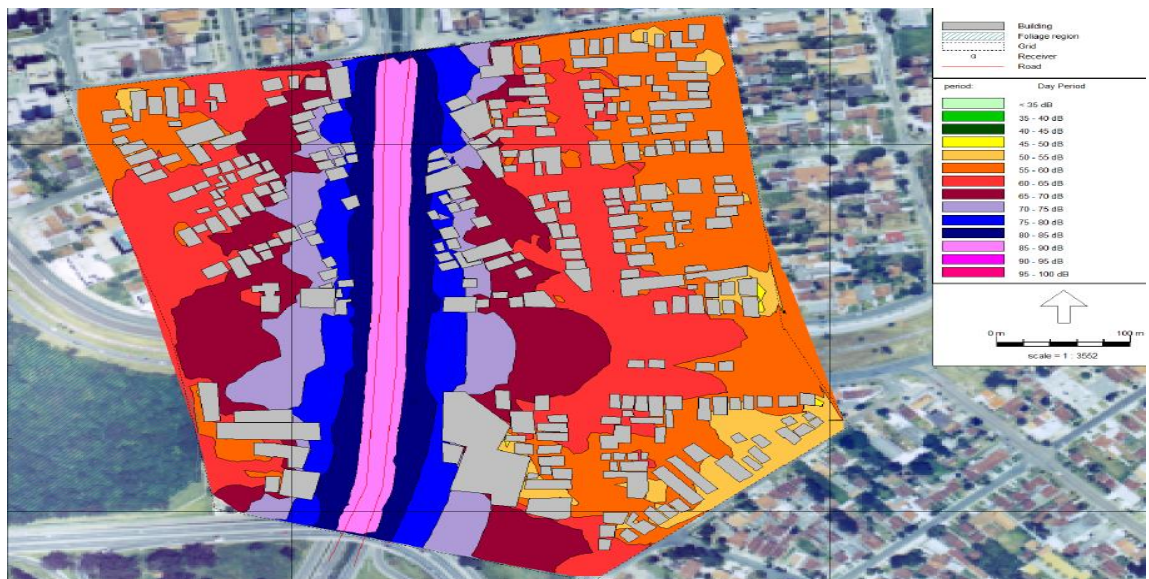


FIGURA 45 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 1 EM 2033  
FONTE: A AUTORA (2013)



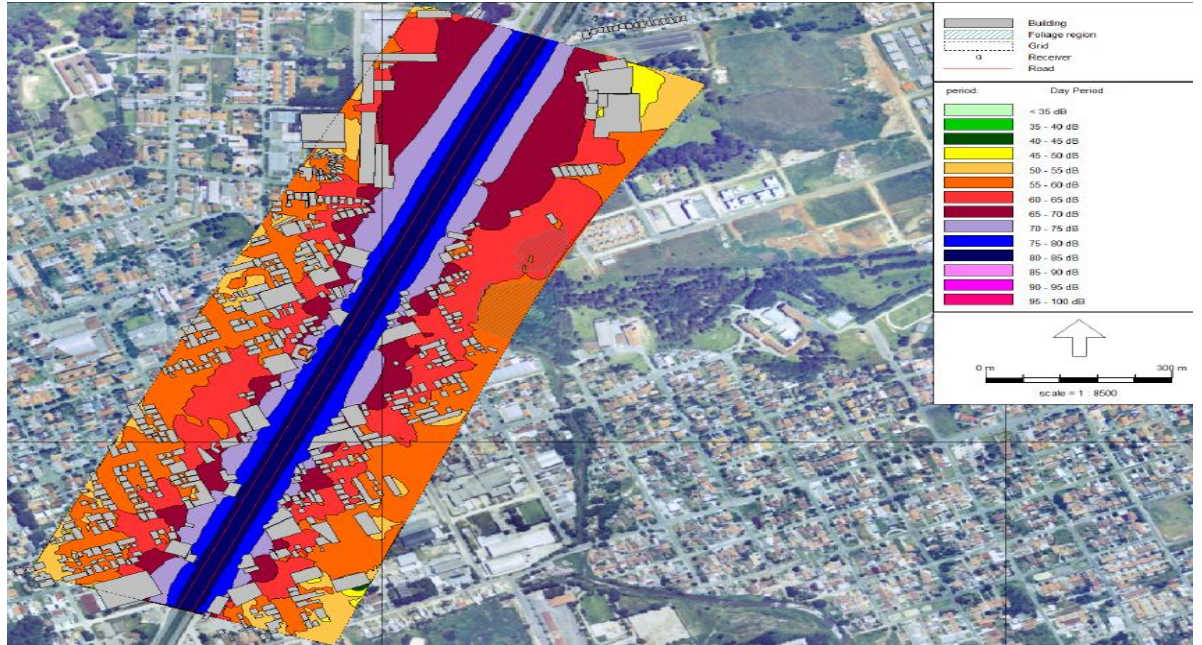


FIGURA 46 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2018  
FONTE: A AUTORA (2013)

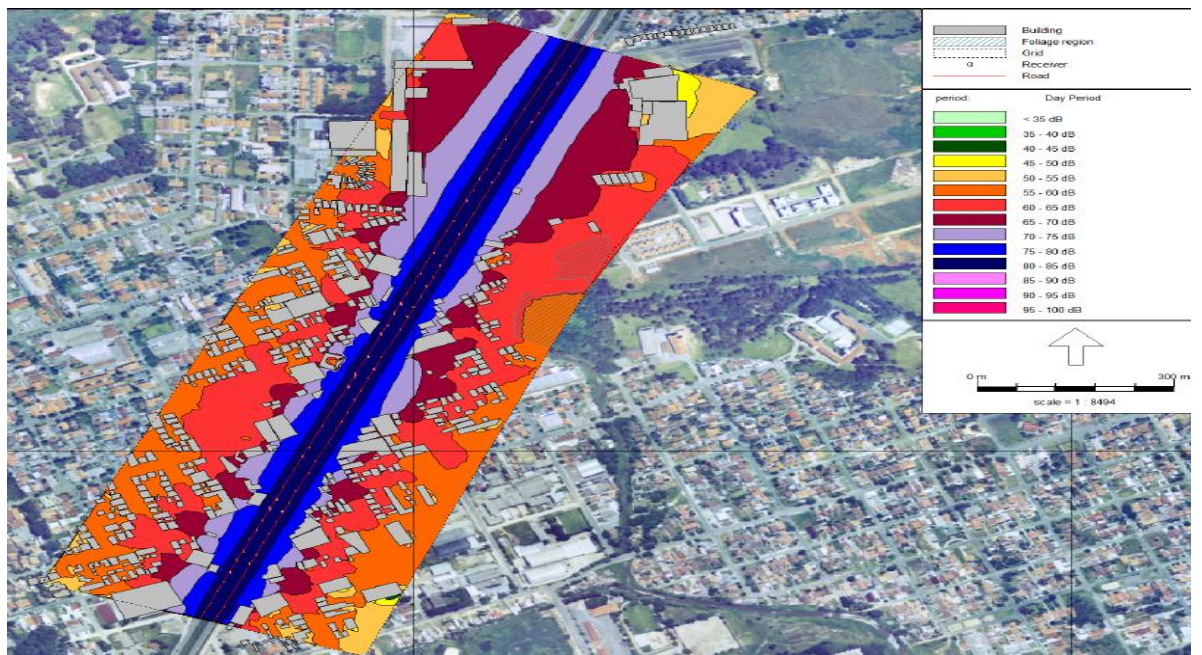


FIGURA 47 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2023  
FONTE: A AUTORA (2013)



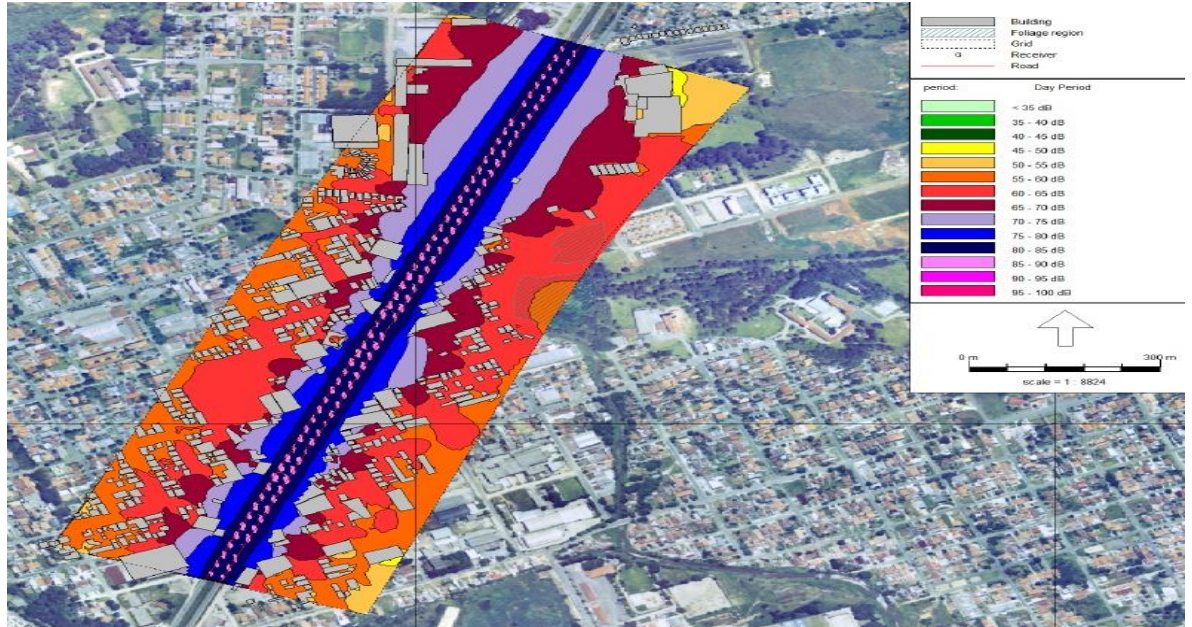


FIGURA 48 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2028  
FONTE: A AUTORA (2013)

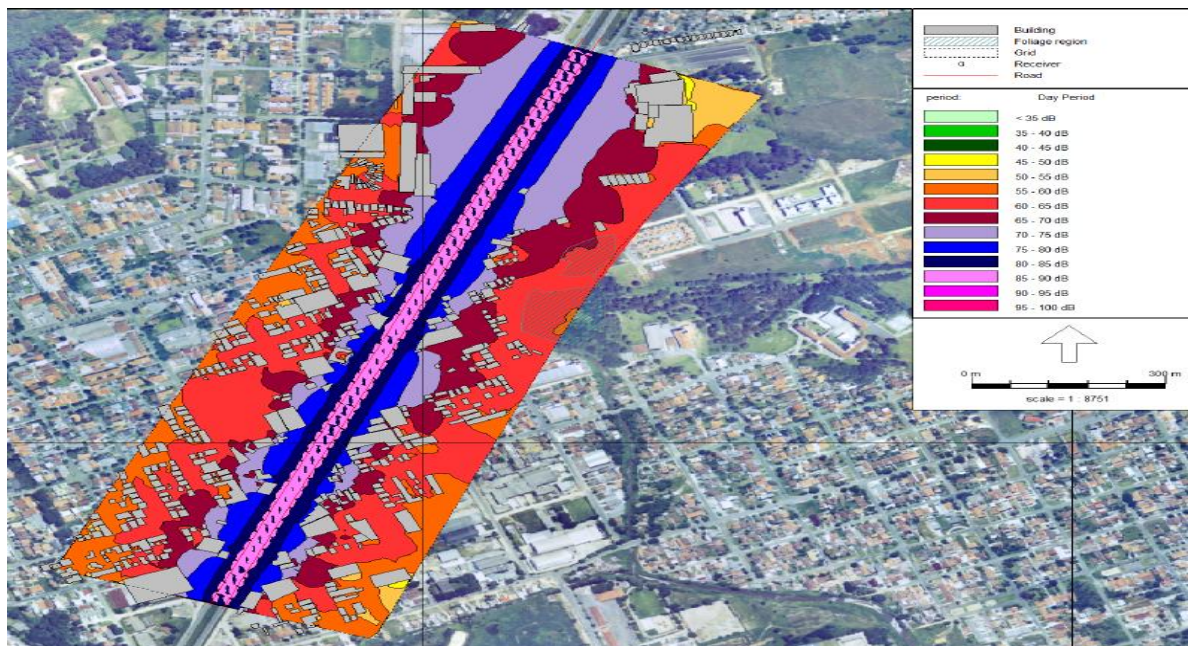


FIGURA 49 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 4 EM 2033  
FONTE: A AUTORA (2013)

Como já era de se esperar, nos mapas acústicos das predições dos próximos 20 anos observa-se um aumento na área fora dos limites estabelecidos na LM e na NBR, quando comparados com o ano de 2013, conforme FIGURAS 42 a 49. No centro da rodovia há o surgimento de uma nova faixa de ruído com níveis entre 85 e 90 dB(A) na cor rosa.

#### 4.7 ANÁLISE VII – ANÁLISE HIPOTÉTICA DE UMA CONDIÇÃO ‘MELHORADA’ DE TRÁFEGO PARA O LOTE 5

Nesta última análise, será avaliada uma condição definida como “melhorada” para minimizar o problema da emissão de ruído na LVN. Para essa última simulação são consideradas quatro hipóteses com base nas análises das seções anteriores:

- ✚ Substituição da malha asfáltica original por um pavimento mais silencioso fornecido pelo software Bruel&Kjaer *Predictor*® denominado *quiet hard elements*;
- ✚ Exclusão do tráfego de veículos pesados;
- ✚ Redução em 50% o tráfego de veículos leves;
- ✚ Redução da velocidade de tráfego dos veículos leve de 75 km/h para 40 km/h.

A TABELA 18 mostra o resultado dessa análise comparada com a condição original para o lote 5 retratada na seção 5.4. O mapa acústico dessa simulação é apresentado na FIGURA 50.

TABELA 18 - MÉDIA DO NÍVEL DE RUÍDO SIMULADO NO LOTE 5, (VL = 40 KM/H)

Análise	Nível de Ruído dB(A)			
	16	17	18	Média
Original	81,1	77,7	73,6	78,5
“Melhorada”	73,1	69,2	64,9	70,3

FONTE: A AUTORA (2013)

Os resultados mostram que, com as medidas adotadas, como a diminuição do tráfego, exclusão dos veículos pesados, diminuição da velocidade e a mudança da pavimentação, há redução considerável no nível de ruído emitido em 8,2 dB(A). Entretanto, o trecho ainda não atenderia os limites da LM e da NBR.



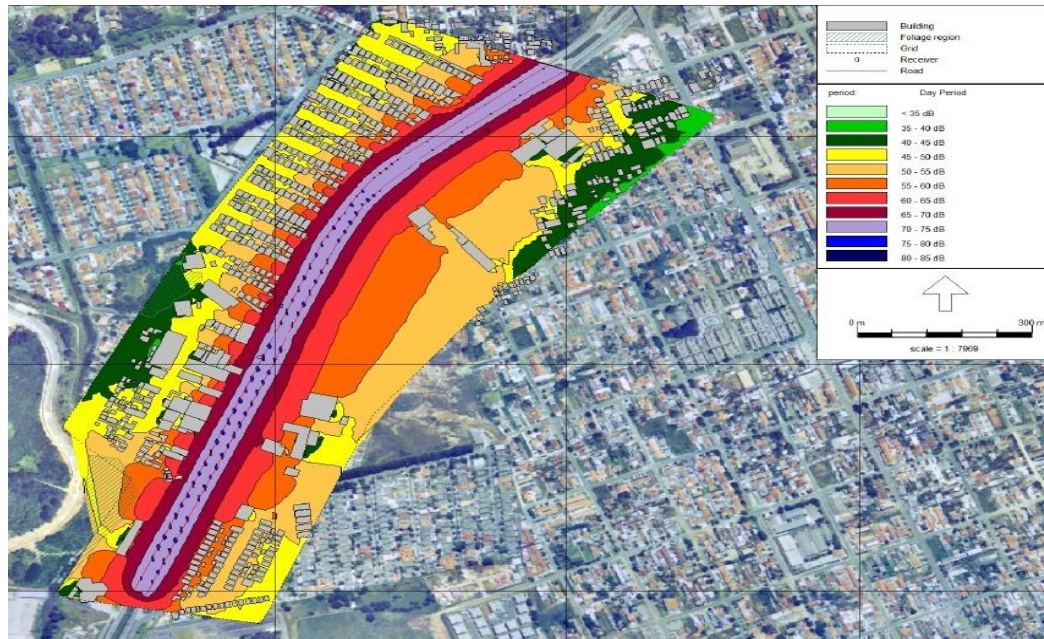


FIGURA 50 - PREDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO PARA O LOTE 5 EM 2013  
 FONTE: A AUTORA (2013)

No estudo realizado em 1997 por Beljević *et al.* por meio de uma entrevista com 253 habitantes de áreas ruidosas ( $Leq > 65$  dB (A)) e com 160 entrevistados de áreas silenciosas ( $Leq < 55$  dB (A)), constatou-se que a qualidade do sono foi pior entre os habitantes de ruas barulhentas. Os distúrbios do sono específico foram: dificuldades em adormecer, cansaço após o despertar e má qualidade subjetiva do sono. Verificaram-se também distúrbios psicológicos com os mesmos habitantes afetados pelo ruído, como: dores de cabeça, nervosismo, fadiga e sensação de depressão maior quando comparados aos habitantes das áreas silenciosas. Nesse estudo, os autores concluíram que os habitantes que vivem em zonas urbanas com níveis elevados de poluição sonora estão em uma categoria de risco elevada, incluindo efeitos psicológicos, problemas com o sono e alteração de comportamento.

Segundo Maschke (1999), o limiar do dano à saúde segundo, a medicina preventiva, está compreendido entre os níveis sonoros de 66 e 70 dB(A). Para o autor, o nível de 65 dB (A) deve ser mantido como o valor máximo de exposição ao ruído de tráfego durante o dia.

Richard (2013), em estudo similar realizado na Alemanha concluiu ações de curto e médio prazo nas pistas de rodagem como:

- Com a melhoria nas rodovias conseguiu -2 até -3 dB(A)

- Através da limitação de Velocidade de 50 Km/h para 30 Km/h alcançou -2,4 dB(A) e
- Reduzindo o percentual de Veículos pesados de 10% para 1% chegou a valores de -3 dB(A).

#### 4.8 ANÁLISE VIII – RUÍDO NA FACHADA

O estudo do ruído na fachada é de suma importância para a previsão dos níveis sonoros que atingem diretamente as fachadas das construções, quando se busca desenvolvimento sustentável e melhoria na qualidade de vida da população urbana em relação à poluição sonora. Segundo Paz *apud* Brown (2004), nos países desenvolvidos e altamente urbanizados, existe a grande preocupação com os níveis que atingem as fachadas das edificações, para que medidas corretivas e principalmente preventivas sejam elaboradas.

A FIGURA 51 representa a edificação do Hospital VITA, situado a aproximadamente 200 m da marginal da LVN, lote 4. Áreas como hospitais e escolas são mais sensíveis ao ruído e são classificadas pela Lei Municipal 9800/2000 como zona de silêncio (ZR-1). Essas áreas possuem uma tolerância menor ao ruído quando comparadas às demais regiões e, neste caso, de acordo com a Lei Municipal 10625/2002, deve ser atendido o limite de 55 dB(A). Além disso, esse limite deve ser observado em uma distância de 200 metros de raio, independente da zona de uso.

A FIGURA 52 representa uma edificação residencial localizada no Trevo do Atuba, lote 6. Essa edificação é um condomínio residencial composto por oito prédios de 12 andares cada. Áreas como essa são definidas pela Lei Municipal 9800 como uma zona residencial urbana (ZR-4) e deve ser atendido o limite de 65 dB(A), de acordo com a Lei Municipal 10.625.

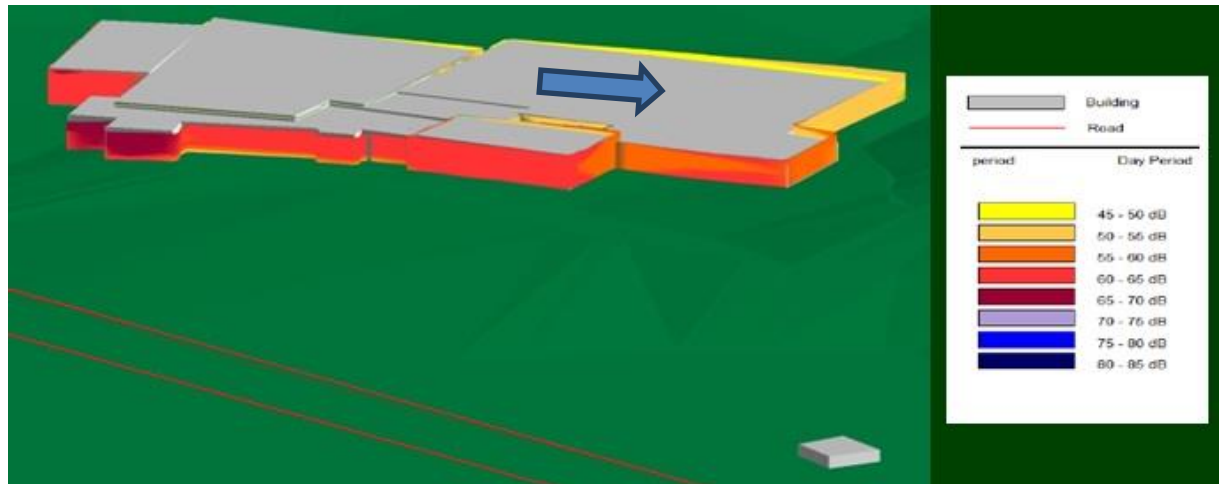


FIGURA 51 - NÍVEL DE RUÍDO NA FACHADA DO HOSPITAL VITA  
 FONTE: A AUTORA (2013)

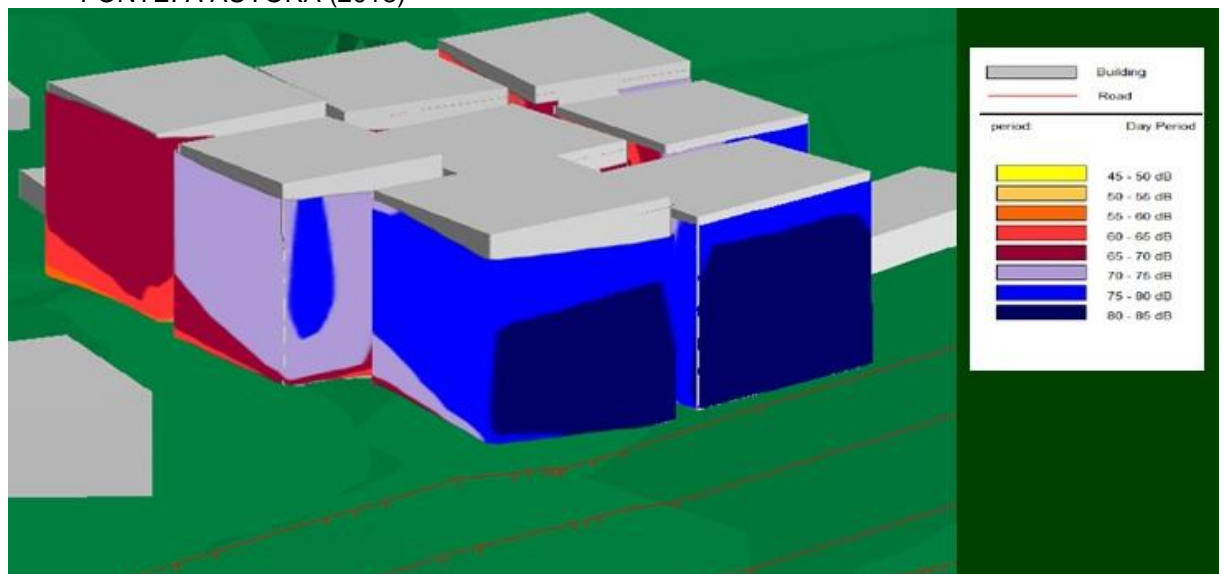


FIGURA 52 - NÍVEL DE RUÍDO NA FACHADA EM EDIFICAÇÃO DO TREVO DO  
 ATUBA  
 FONTE: A AUTORA (2013)

Nas fachadas analisadas, verifica-se que os níveis de ruído a que estão submetidas às duas construções encontram-se acima dos limites da LM. Um fato importante a ser observado é que a localização dos leitos e dos pacientes pós-cirúrgicos no Hospital Vita encontra-se dentro dos limites da LM, local visualizado pela flecha na FIGURA 51, sendo um exemplo de uma obra bem instalada. Nota-se que as duas fachadas são alvo da mesma rodovia e são bem diferentes devido ao recuo.

Na FIGURA 52, nota-se que o nível de ruído na fachada da construção é muito elevado, atingindo a 85 dB(A) nas fachadas frontais e 70dB(A) nas fachadas laterais. Para minimizar o efeito do nível de ruído elevado sobre os moradores desses

apartamentos, as construções devem ser adequadamente projetadas para que o ruído transmitido para dentro das residências seja baixo e assim, atender os limites admissíveis pela LM e NBR no período diurno e noturno. A ABNT NBR 15575/2013 estabelece a atenuação acústico entre o ruído padrão gerado externamente e a intensidade sonora registrada no interior da construção, nas áreas dos dormitórios, valores estes que variam dependendo da classificação do ruído. A localização estudada encontra-se definida como classe III, Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e a atenuação do ruído varia entre  $\geq 30$  e  $\geq 40$  dB(A).



## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho foi realizado no trecho urbano da BR 116 da cidade de Curitiba denominado de Linha Verde Norte (LVN). O nível de ruído emitido pelo tráfego de veículos na LVN foi medido considerando os seguintes parâmetros acústicos: número de veículos leves e pesados em tráfego, velocidade de tráfego e altura e quantidade de edificações no entorno da via. Com a variação desses parâmetros, foi possível fazer análises computacionais com o objetivo de prever e mensurar a poluição sonora na LVN. Os critérios legais determinantes nas avaliações desta dissertação foram: a legislação do município 10625/2002 e a NBR10151/2000. As simulações computacionais foram realizadas por meio do aplicativo comercial *Predictor*®, desenvolvido pela Bruel&Kjaer.

Primeiramente foi calibrado o aplicativo *Predictor*® com a inclusão dos parâmetros acústicos e da escolha da malha asfáltica da via. O resultados foram comparados com as medições do nível de ruído em dB(A) na via pela determinação do nível de pressão sonora equivalente ( $L_{eq}$ ) em 25 pontos. A diferença entre a simulação e os pontos medidos não foram superiores a 3,9 dB(A), o que mostra a confiabilidade do modelo adotado de acordo a WG-AEN(2002).

De maneira geral, as simulações mostram que a poluição sonora é um problema presente na área em estudo, pois todos os resultados computacionais revelaram que o nível de ruído emitido no período diurno superam o limite de 60 dB(A), determinado pela Lei Municipal 10625/2002.

Também foram realizadas as medições em cinco pontos no trecho em obras, lote 2, compreendido entre as Rua Del. Leopoldo Belczak e Rua Coronel Iraze Paes Brasil. O valor encontrado nas medições está entre 72,1 e 80,8 dB(A), abaixo do limite estipulado que é de 90 dB(A) para trecho em obras, de acordo com lei municipal de Curitiba no 10.625.

A realização de projeções, a partir da diminuição do tráfego de veículos leves e pesados, surgiu como um possível minimizador da emissão de ruído. Nas avaliações em que se reduziu o tráfego de veículos leves e pesados em 90%, obteve-se redução no nível de ruído de 10,2 dB(A). Em outra avaliação, foram reduzidas as velocidades de tráfego dos veículos em concomitância com a eliminação do tráfego de veículos pesados. Nessa avaliação ocorreu diminuição de 7 dB(A) no nível de

ruído emitido na via. Essas duas medidas, no entanto, não foram suficientes para que os trechos avaliados estivessem em conformidade com a lei municipal.

A análise das projeções futuras por meio das simulações computacionais demonstra que a poluição sonora tende a agravar-se com o passar do tempo. Nessa avaliação foi projetado um aumento do número de veículos em 4,85% ao ano, com base nos índices do DENATRAN de veículos emplacados nos últimos cinco anos. Os resultados demonstram que o nível de ruído tende a aumentar em aproximadamente 1 dB(A), a cada 5 anos.

O nível de poluição sonora que chega às fachadas dessa rodovia encontra-se acima do permitido nas duas projeções realizadas. As duas construções avaliadas são de suma importância, por se tratar de um empreendimento imobiliário onde as pessoas passarão boa parte de suas vidas expostas a essa poluição sonora, conforme a FIGURA 52, e o segundo é um hospital. Ressaltando um fato importante é que a localização dos leitos e dos pacientes pós-cirúrgicos no Hospital Vita encontra-se dentro dos limites da LM. Nota-se que as duas fachadas são alvo da mesma rodovia e são bem diferentes devido ao recuo.

Com todas as mudanças hipotéticas realizadas anteriormente, conforme a FIGURA 50, ainda não se verificou uma solução para o problema encontrado nessa região de tráfego intenso e poluição sonora acima da legislação pertinente à cidade de Curitiba.

Existe a necessidade de diversas ações conjuntas para que o problema seja solucionado. Muitas ações mitigadoras poderão ser adotadas em conjunto para a conservação da qualidade ambiental como, por exemplo:

- ✚ Educação sobre os perigos a uma exposição ao ruído.
- ✚ Investimento no transporte público de qualidade, para que mais pessoas utilizem o serviço para se deslocarem, deixando seus carros nas garagens.
- ✚ Fiscalização mais rígida em relação à velocidade permitida.
- ✚ Fiscalização sobre a indústria automobilística para produzir carros mais silenciosos.
- ✚ Reestruturação do loteamento das áreas próximas à Linha Verde para que seja respeitada a distância das áreas poluídas.

## REFERÊNCIAS

ANNECKE, R. AND ZIMMERMAN, U. (2008) **'Examples of using traffic management measures on noise in cities - Munich'** in Ellebjerg, L. (ed) (2008).

ARANA, M., GARCIA, A. **A Social survey on the Effects of Environmental Noise on the Residents of Pamplona, Spain.** Applied Acoustics, vol.53, n.4, p. 245-253, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.151:Acústica - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas, Visando o Conforto da Comunidade – Procedimento.** Rio de Janeiro, 2000.

AZEVEDO, A. P. M. **Efeito de Produtos Químicos e Ruído na Gênese de Perda Auditiva Ocupacional.** Dissertação de Mestrado – Escola Nacional de Saúde Pública, 2004. Disponível em <<http://teses.iciet.fiocruz.br/pdf/azevedoapmm.pdf>> Acesso em Junho 2012.

BABISCH,W.,NEUHAUSER, H., THAMM, M., SEIWERT, M.**Blood pressure of 8-14 year old children in relation to traffic noise at home- Results of the German Environmental Survey for Children (GerES IV).** Science of the Total Environment v.407, p 5839-5843, 2009.

BARBOSA, W.A. **Aspectos do Ruído Comunitário em Curitiba.**Curitiba, 1992.

BELOJEVIC, G., JAKOVLJEVIC, B. **Subjective reactions to traffic noise with regard to some personality traits.** Environment International, v. 23, n. 2, p. 221-226, 1997.

BENDTSEN, H., HABERL, J., SANDBERG, U., WATTS, G., PUCHER, E. (2005) **Traffic Management and Noise Reducing Pavements - Recommendations on Additional Noise Reducing Measures** SILVIA (Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control) Project Report, Roskilde, Denmark: Danish Road Institute/Road Directorate.

BERANEK, L. L. **Acoustical Measurements.** 3 ed. Massachusetts: Acoustical Society of America and American Institute of Physics, 855 p., 1993.

BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. **Noise and Vibration Control Engineering – Principles and Applications**. 4 ed. New York: Wiley Interscience Publication, 823 p., 1992.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D. H. **Guidelines for Community Noise**. World Health Organization – WHO. Geneva, p. 1-21, 1999.

BIES, D.A; HANSEN, C.H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 2 ed. New York: Spon Press – Taylor & Francis Group, 736 p. 2002.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 1ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: Promulgada em 5 de outubro de 1988. Brasília: Centro Gráfico do Senado Federal, p. 292.

BROWN, A. L. **Exposure of the Australian Population to Road Traffic Noise**. Applied Acoustic, Australia, v. 43, p. 169-176, 1994.

BRITO, V.P.S. **Incidência de perda auditiva induzida por ruído em trabalhadores de uma fábrica**. Goiânia, Monografia – CEFAC – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica – GO, 1999.

BRÜEL & KJÆR, **Environmental Noise Booklet. Brüel & Kjær Sound e Vibration Measurement A/S**, 2000.

CALIXTO, A. **O Ruído gerado pelo Tráfego de Veículos em “Rodovias-Grandes Avenidas”, situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisados sobre parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental**,. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 125 p. Curitiba. 2002

CARLOS, Ana Fani Alessandri. **A cidade**. São Paulo: Contexto, 98p. 1992.

CARLOS, A. F. **A cidade**. São Paulo: Editora Contexto, 1992.

CARMO, L.I.C. (1999). **Efeitos do ruído ambiental no organismo humano e suas manifestações auditivas**. Goiânia, Monografia – CEFAC – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica - GO.

COSTA, A. A. (2007). Pneus reciclados no asfalto reduzem ruído na A8 e CREL. Disponível em: <http://smartengineering.blogspot.com/2007/03/pneus-reciclados-no-asfalto-reduzem> . Acesso em 7/07/2012.

DEPARTMENT FOR TRANSPORT (1996) **Traffic Calming: traffic and vehicle noise**, Traffic Advisory Leaflet 6/96.

CHO,D.S; KIM,J.H ; CHOI,T.M; B KIM,B.H; MANVELL D. **Highway traffic noise prediction using method fully compliant with ISO 9613**: comparison with measurements, Applied Acoustics, Volume 65, Issue 9, September 2004, Pages 883-892.

CHO,D.S; MUN,S. **Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types**, Applied Acoustics, Volume 69, Issue 11, November 2008, Pages 1120-1128.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução N.º 252 de 01 de fevereiro de 1999: Estabelece, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso.** Brasília, 1999.

DE DONATO, S.R, MORRI, B. **A statistical model for predicting road traffic noise based on Poisson type traffic flow** Noise Control Engineering Journal [Noise Control Eng. J.]. Vol. 49, no. 3, pp. 137-143. May-Jun 2001.

DEFRANCE, J.; GABILLET, Y. **A New Analytical Method for the Calculation of Outdoor Noise Propagation.** Applied Acoustics, France, v. 57, p. 109-127, 1999.

Departamento de Trânsito do Governo do Estado do Paraná- DETRAN - **Secretaria do Plantão de Acidentes do BPTan e Divisão de Estatística do DETRAN.** Disponível: <<http://www.detrان.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetrانito/frotadeveiculoscadastradospr/2010/frotaVeiculoMunicipioAbril2010.pdf>>. Acesso em Abril de 2010

DINIZ, F. B. **Avaliação do ruído urbano em Curitiba.** Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 38 p. 2000.

DINIZ, F. B. **Impacto Ambiental Sonoro Gerado por Subestações de Energia Elétrica na Cidade de Curitiba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 136 p. 2003.

EILEEN D. **Noise and Hearing Loss: A Review.** Journal of School Health d May 2007, Vol. 77, n.º 5.

ENIZ A.O. **Poluição sonora em escolas do Distrito Federal**. Dissertação de mestrado. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2004.

EUROPEAN UNION.DIRECTIVE 2002/49/EC **Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise**.Official Journal of the European Communities; 2002. No. L 189.

FERNANDES, J. C. **Acústica e ruídos** (apostila). Bauru UNESP, 2002. 98 p. Universidade Estadual Paulista,2002.  
Disponível em: <[http //wwwp.feb.unesp.br/jcandido/acústica/apostila.htm](http://wwwp.feb.unesp.br/jcandido/acustica/apostila.htm)>. Acesso em 18 set.2012.

FIDEL, IS. (1978). **Nationwide urban noise survey**. Journal of the Acoustical Society of America 1978; 64: 198-106.

FIEDLER P. E. K., BUNN F., ZANNIN P.H.T. **Pre-environmental study for the implementation of a new road system - a case study in Curitiba, Brazil**. DAGA 2012 – Darmstadt.

FIEDLER, PAULO E. K.**Avaliação da poluição sonora ambiental gerada pelo ruído rodoviário na cidade de Curitiba**. Dissertação Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, 2013.

FRITSCH, R. C. **Avaliação do Ruído Urbano: o caso da área central de Passo Fundo RS**. 182f. Dissertação Mestrado em Engenharia, Universidade de Passo Fundo, 2006.

GERGES, SAMYR N. Y. **Ruído: Fundamentos e Controle**. 2 ed. Florianópolis: Imprensa da Universidade Federal de Santa Catarina, 600, 2000.

GERGES, S. N. Y. **Noise in large cities in Brazil**. Journal of the Acoustical Society of America, Brazil, v. 115, n. 5, p. 2592-2593, 2004.

GOLEBIEWSKI, R.; MAKAREWICK, R.; NOWAK, M.; PREIS, A. **Traffic Noise Reduction due the porous Road Surface**. Applied Acoustics, Poland, v. 64, p. 481-494, 2003.

GOLMOHAMMADI, R.; ABBASPOUR, M.; NASSIRI, P. & MAHJUB, H.**Compact Model For Predicting Road Traffic Noise**.Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering, Vol. 6, No. 3, 2009, pp. 181-186

GONZÁLEZ, A.E. **Monitoreo de ruido urbano en la ciudad de Montevideo: determinación del tiempo óptimo de muestreo y desarrollo de un modelo predictivo en un entorno atípico**. Thesis for the Degree of Doctor in Environmental Engineering, UdelaR, Montevideo, Uruguay, March 2000.

GOOGLE EARTH-MAPAS. [Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com). Consulta realizada em 5/05/2012.

GRIFFITHS, I.D.; LANGDON, F.J. (1986). **Subjetive response to road traffic noise**. Journal of Sound and Vibration 1986; 8: 16-32.

GUEDES, I. C. M. **Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo nobairro Jardins, em Aracaju (SE)**. 139f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) –Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadualde Campinas, Campinas, 2005

GUEDES M.; LEITE M. J. **Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído**. Instituto do Ambiente PT, 2007.

GUEDES, I. C. M. ; BERTOLI, S. R. ; ZANNIN, P. H.T. **Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju Brazil**. Science of the Total Environment, v. 412, p. 66-76, 2011.

HARRIS, C.M. **Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control**. 3 ed. New York: McGraw- Hill, 1646 p., 1998

HASSAL. J. R; ZAVERI, K; **Acoustic Noise Measurement**. 4 ed. Dinamarca: Bruel & Kjaer Magazine, 280 p., 1979.

IAZZETA, F. (2007). **Tutoriais de áudio e acústica**. Arquivo eletrônico disponível em: <http://www.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/index.html>. Acesso em 18 jul.2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA–IBGE. **População de Curitiba** – Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em Setembro de 2012.

IPPUC (2013). **Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba** – Disponível em < <http://www.ippuc.org.br/default.php>>. Acesso em março de 2013.

JOHNSON, D. R.; SANDERS, G. **The Evaluation of Noise from freely flowing road traffic.** Journal of Sound and Vibration, UK, v. 7, n. 2, p. 287-309, 1968.

JONG-SAN TSAY, JEN-JON LO AND YI-SHENG LIN. **The Study of Mathematical Model For Predicting Road Traffic Noise.** Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 6, No. 2, pp. 111-120, 2003.

K. IZUMI, T. YANO .**Community response to road traffic noise: social surveys in three cities in Hokkaido.**Journal of Sound and Vibration (1991) 151(3), 505-512

KINSLER, L. E.; FREY, A.R.; COPPENS A.B.; SANDERS J.V. **Fundamentals of Acoustic**, 3 ed., USA, 1982.

KO J. H., CHANG I. S., LEE P B. **Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea.** Applied Acoustics 72 544–550. 2011

LAWRENCE A. and BURGESS M. **Measurement of traffic noise shielding provided by buildings.** AppliedAcoustics, 13 (1980) 211-225

LEE,S.W; CHANG, S.I; PARK, Y.M. **Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea.** Applied Acoustics, Volume 69, Issue 8, August 2008, Pages 704-714.

LIZANA, P. Enviromental noise culture, **2nd Pan-American and Iberian Meeting on Acoustics**, 160th ASA meeting, 7.º Congress FIA, 17.º Congress IMA, ISSN: 0001-4966, Cancún, México, November 2010.

MAIA, M.A.L. **Contribuição ao Mapeamento do Ruído Urbano na cidade de Porto Alegre –RS.** 126p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MAKAREWICZ, R. **A Simple Model of Outdoor Noise Propagation.** Applied Acoustics, Japan, v. 54, n. 2, p. 131-140, 1998.

MANVELL D., BANDA E.H. Good practice in the use of noise mapping software. Applied Acoustics 72 (2011) 527–533.

MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure.** Acustica, Germany, v. 85, p. 448-461, 1999.



MEDEIROS, L.B. **Ruído: Efeitos extra-auditivos no corpo humano**. Porto Alegre, RS. Monografia – CEFAC – Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica.1999.

MIODUSZEWSKI,P., EJSMONT J. A., GRABOWSKI J., KARPIŃSKI D., **Noise map validation by continuous noise monitoring**, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 582-589

MURGEL, E. **Medidas de Controle de Ruídos em Rodovias**. 18.º Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Florianópolis, p. 267-270, 1998.

MURPHY E., KING E.A. **Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications**. Environment International 36 (2010) 290–298.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, 2004.

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica Técnica**. 1 ed. São Paulo: Editora Técnico-Científica Industrial Ltd. – ETEGIL, 579 p., 1968.

OROZCO-MEDINA, M.G., FIGUEROA-MONTAÑO, A. **Urban noise and transport as a strategy of environmental quality**, 2nd Pan-American and Iberian Meeting on Acoustics, 160th ASA meeting, 7.º Congress FIA, 17.º Congress IMA, ISSN: 0001-4966, Cancún, México, November 2010.

PAZ, E. C. **Estudo de um Modelo de Avaliação e Predição Acústica para o Ruído de Tráfego**.Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Universidade Federal do Paraná, 458p. 2004.

PICAUT, J.; SIMON, L. **A Scale Model Experiment for the Study of Sound Propagation in Urban Areas**. Applied Acoustics, France, v. 62, p. 327-340, 2001.

PINTO, F.A.N.C. & MARDONES, M.D.M. (2008). **Noise mapping of densely populated neighborhoods - example of Copacabana, RJ, Brazil**, Environmental Monitoring and Assessment.

PORTELA, BRUNO SERGIO. **Análise da Exposição Ocupacional ao Ruído em Motoristas de Ônibus Urbanos: Avaliações Objetivas e Subjetivas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – PMC, SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – SMMA. **Lei N.º 10.625, de 19 de fevereiro de 2002: Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem-estar e do sossego público e dá outras providências**. Curitiba, 2002.

QUADROS F.S. **Avaliação do Ruído Ambiental Gerado por Veículo de Utilidade Pública. Estudo de caso: Caminhão de Coleta de Resíduos Domiciliar**. Curitiba. (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 144 p. 2004

RAMALINGESWARA RAO, P.; SESHAGIRI RAO, M. G.; **Community Reaction to Road Traffic Noise**. Applied Acoustics, Indian, v. 37, p. 51-54, 1992.

RESOLUÇÃO N.º 001 DE 08 DE MARÇO DE 1990 – **Refere à emissão de ruídos de quaisquer atividades e sua relação com a saúde e sossego público e remete aos critérios e diretrizes das Normas da ABNT, NBR 10151 e NBR 10152**.

REYNOLDS, D. D. **Engineering Principles of acoustics- Noise and vibration control**. Allyn and Bacon Inc, 1981.

RICHARD, J. **Hinweise Zur Ausstellung Von Lärmaktionsplänen au Berhalb Von Ballungsräumen**, p. 186-191, 2013.

ROBINSON, D. W. **Towards a unified system of noise assessment**. Journal of Sound and Vibration, UK, V. 14, N. 3, P. 279-298, 1971.

ROSSING, T. D; MOORE, F. R.; WHEELER, P. A. **The Science of Sound** 3. ed., Los Angeles: Pearson Addison Wesley, 680 ., 2001.

SATTLER, M. A. **Urban Noise Survey for the city Porto Alegre, Brazil**. 137th Meeting of the Acoustical Society of America – Fórum de Acústica, Berlim, p. 1-6, 1999.

SCHULTZ, T. J. **Community Noise Rating**. 2.ed. Londres / Nova Iorque, 1972.

SHAPIRO, HOWARD N, MORAN, MICHAEL J. . **Princípios da Termodinâmica Para Engenharia**. 6 ed. 2011.

SCHERER, M.J.. **Estudo do isolamento sonoro de vidros de diferentes tipos e espessuras, em vitragem simples e dupla.** Santa Maria. Dissertação (Mestrado de Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria - RS. 2005

SILVA, P.. **Acústica arquitetônica e condicionamento de ar.** EDTAL - Empresa Termo Acústica Ltda. 4 ed. Belo Horizonte. 2002.

SOUSA, D. da S. **Instrumentos de Gestão de Poluição Sonora para a Sustentabilidade das Cidades Brasileira.** Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético). Rio de Janeiro, 2004.

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

SZEREMETA, B. **Avaliação e Percepção da Paisagem Sonora de Parques Públicos de Curitiba.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 91 p. 2007

T.SUBRAMANI, M.KAVITHA, K.P.SIVARAJ. **Modelling Of Traffic Noise Pollution.** **International Journal of Engineering Research and Applications** (IJERA) Vol. 2, Issue 3, May-Jun 2012, pp.3175-3182.

TAI K.T., LIN M.D., CHEN Y.H. **Noise mapping in urban environments: A Taiwan study.** **Applied Acoustics** 70 (2009) 964–972

UTLEY W. A. **Temporal sampling techniques for the measurement of environmental noise.** **Applied Acoustics** 15,. 1982. p. 191-203

VALADARES, V. M. **Ruído de Tráfego Veicular em Corredores de Transporte Urbano: Estudo de Caso em Belo Horizonte – MG.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.1997.

VERBAND DER AUTOMOBILINDUSTRIE E. V. VDA. **Urban Traffic and Noise.** 1 e d. Frankfurt: VDA, 135 p., 1978.

YAMAGUCHI, S; SAEKI, T.; KATO, Y. **A Fundamental Consideration on Estimating Leq of Specific Noise Under the Existence Background Noise.** **Applied Acoustic**, Japan, v.55, n.º 3, 1998. p. 165-180.

WTEZEL, E.; NICOLAS, J.; ANDRE, P.; BOREAUX, J. J. **Modelling the Propagation Pathway of Street Traffic Noise: practical comparison of German Guidelines and RealWorld Measurements.** Applied Acoustics, Germany, v. 57, p. 97-107, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). (BERGLUND B.; LINDVALL, T.SCHWELA D.) **Guidelines for community noise.**  
Disponível em: < <http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf> /> Acesso em: 12 nov. 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (UK). **Résumé d’Orientation des Directives de l’OMS Relatives au Bruit dans l’Environnemental.** Disponível em: <<http://www.who.int/home.page/>>Acesso em Março de 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO.  
Disponível em:<<http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/>> Acesso em Abril de 2012.

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

ZANNIN, P. H. T. *et. al.* **Environmental Noise Pollution in the city of Curitiba, Brazil.** Applied Acoustics, Brazil, v. 63, p. 351-358, 2002.

ZANNIN,P.H.T, SANT’ANA, D.Q., **Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project** – A case study in Brazil, Applied Acoustics, Volume 72, Issue 8, July 2011, Pages 479-486.

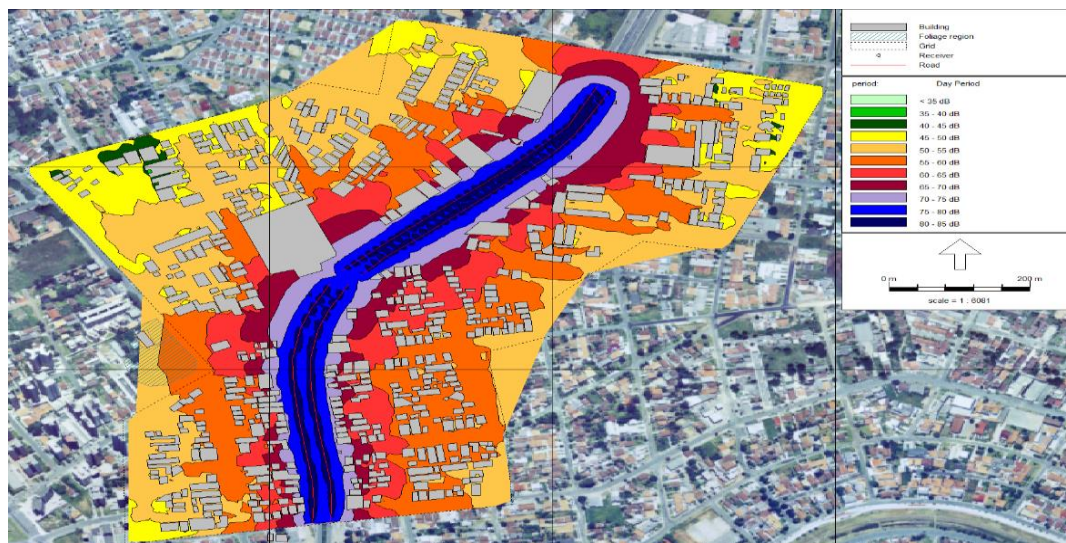
ZEYNEP D., NEŞE A.. **Noise disturbance caused by outdoor activities— a simulated-environment study for Ali Sami Yen Stadium, İstanbul.** Environmental monitoring and assessment. Volume 174, Numbers 1-4. 2011. p. 347-360.

## APÊNDICES

APÊNDICE 1 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	107
APÊNDICE 2 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	107
APÊNDICE 3 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	108
APÊNDICE 4 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	108
APÊNDICE 5 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	109
APÊNDICE 6 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	109
APÊNDICE 7 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	110
APÊNDICE 8 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	110
APÊNDICE 9 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	111
APÊNDICE 10 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	111
APÊNDICE 11 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	112
APÊNDICE 12 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2.....	112
APÊNDICE 13 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	113
APÊNDICE 14 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	113
APÊNDICE 15 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	114

APÊNDICE 16 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	114
APÊNDICE 17 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	115
APÊNDICE 18 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	115
APÊNDICE 19 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	116
APÊNDICE 20 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	116
APÊNDICE 21 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	117
APÊNDICE 22 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	117
APÊNDICE 23 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	118
APÊNDICE 24 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3.....	118
APÊNDICE 25 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	119
APÊNDICE 26 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	119
APÊNDICE 27 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	120
APÊNDICE 28 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	120
APÊNDICE 29 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	121
APÊNDICE 30 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	121
APÊNDICE 31 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	122
APÊNDICE 32 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	122

APÊNDICE 33 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	123
APÊNDICE 34 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	123
APÊNDICE 35 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	124
APÊNDICE 36 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5.....	124



APÊNDICE 1 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)



APÊNDICE 2 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)



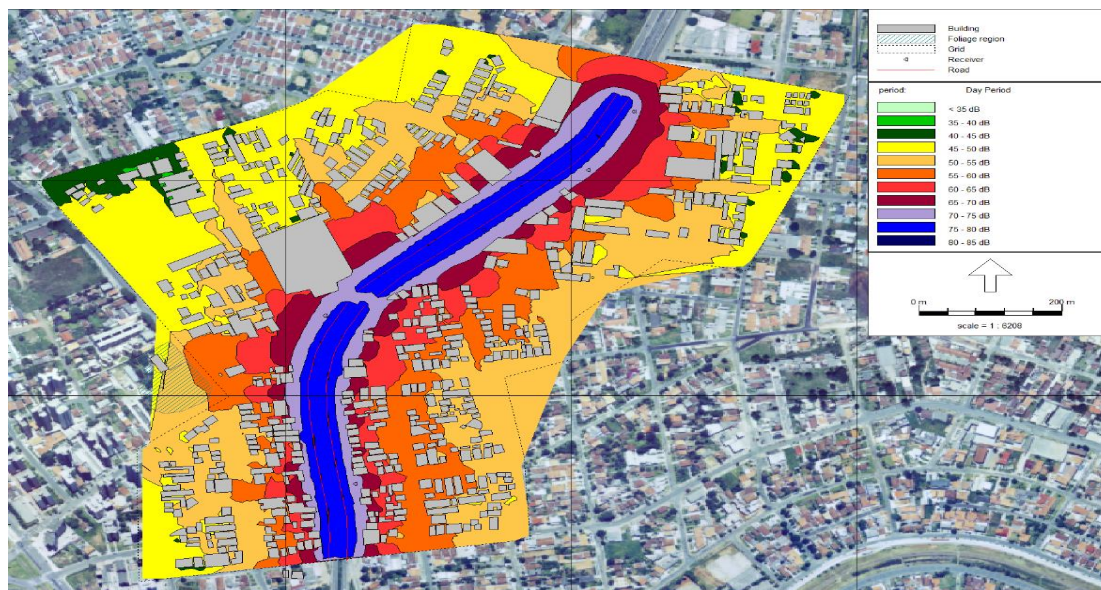


APÊNDICE 3 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)

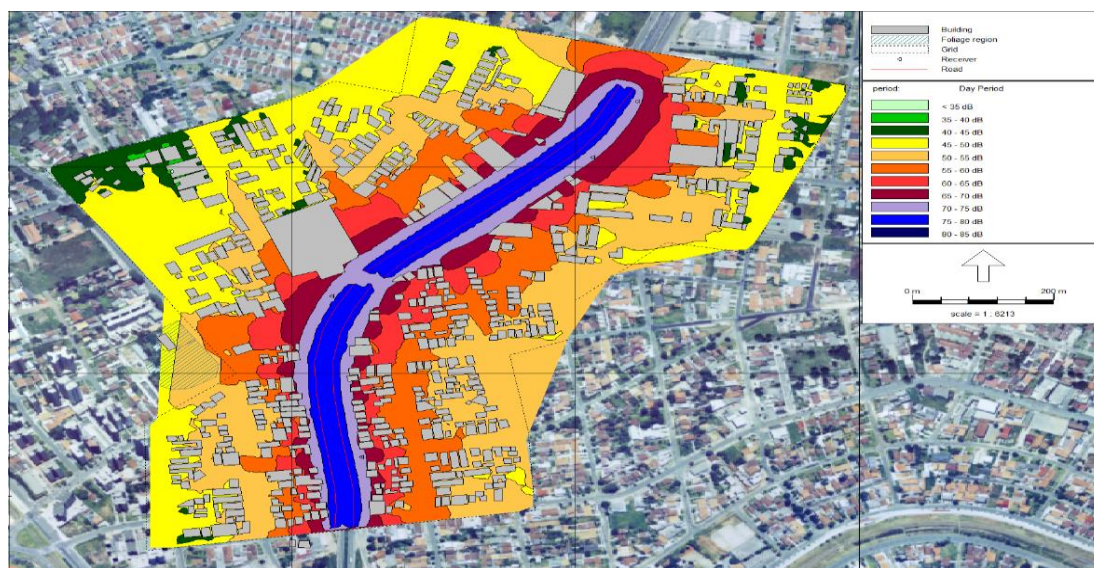


APÊNDICE 4 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)





APÊNDICE 5 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)



APÊNDICE 6 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)





APÊNDICE 7 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)

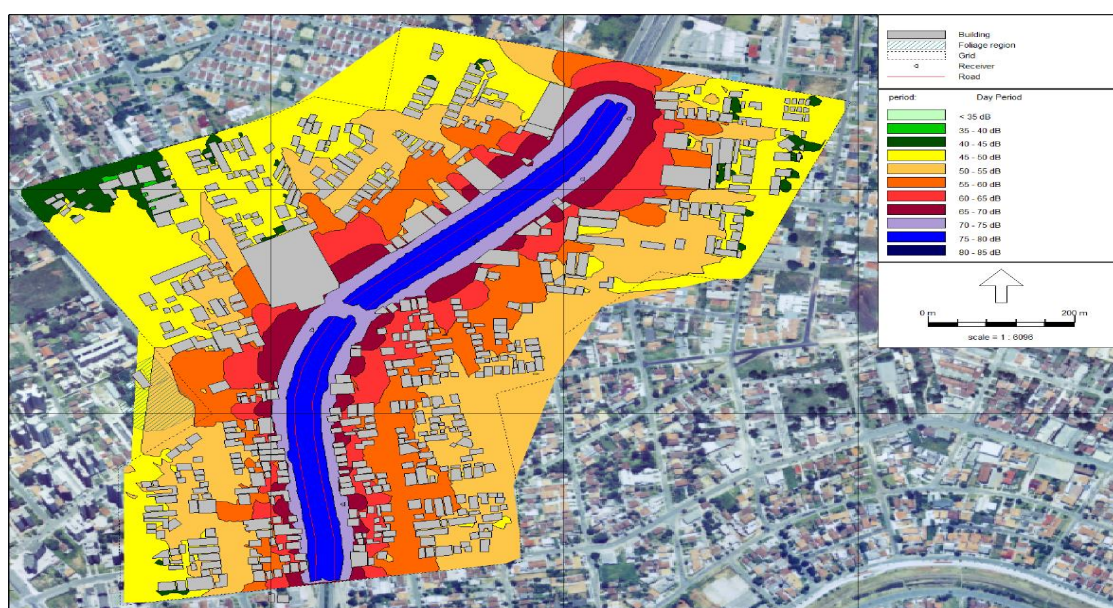


APÊNDICE 8 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO  
PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)



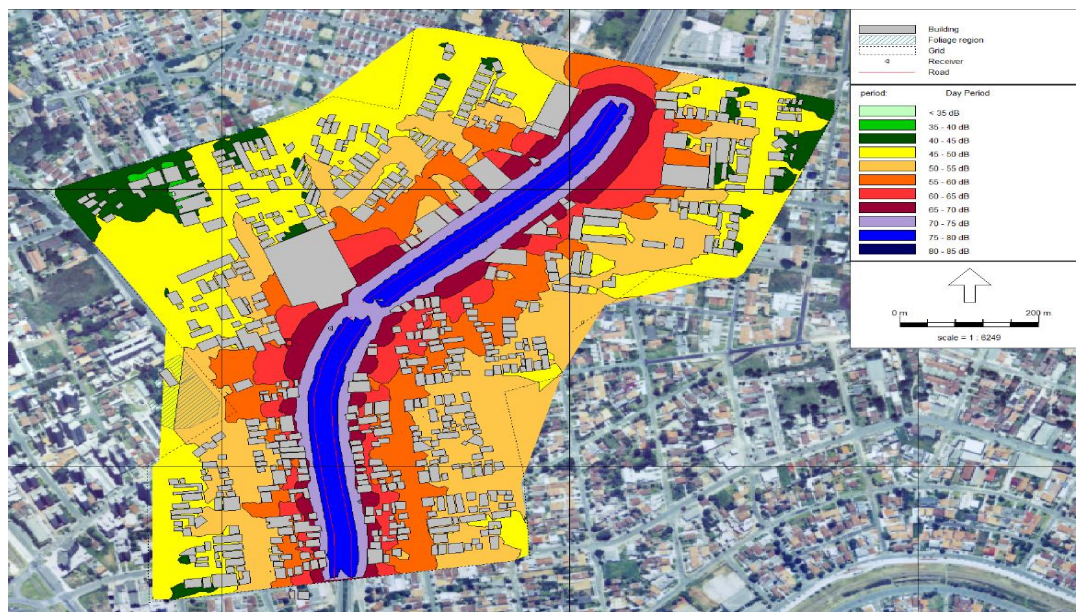


APÊNDICE 9 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)



APÊNDICE 10 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2  
FONTE: A AUTORA, (2013)



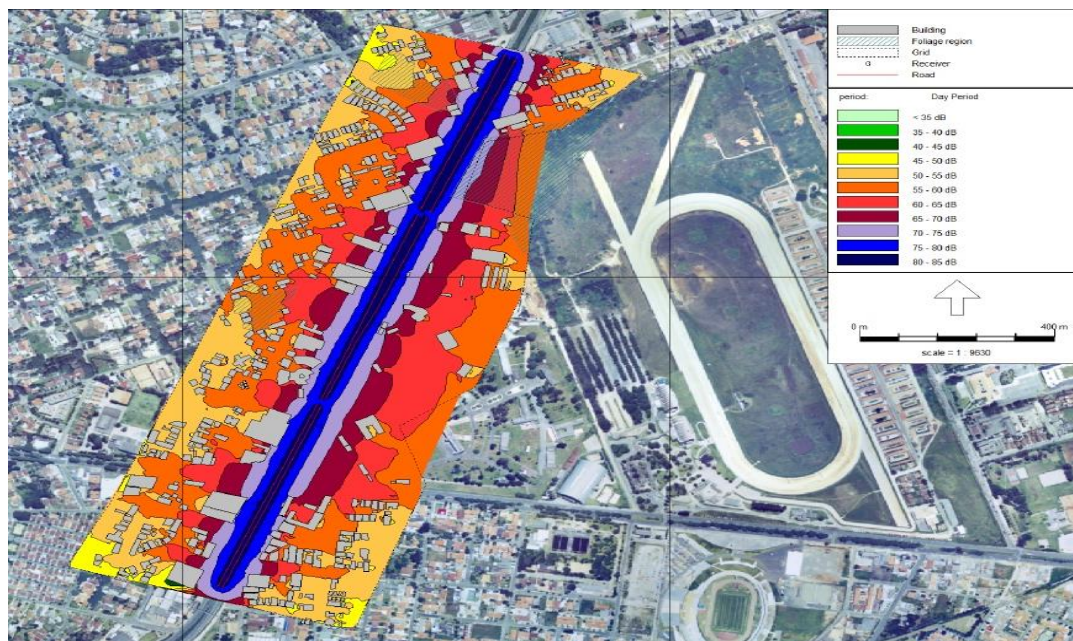


APÊNDICE 11 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2  
 FONTE: A AUTORA, (2013)

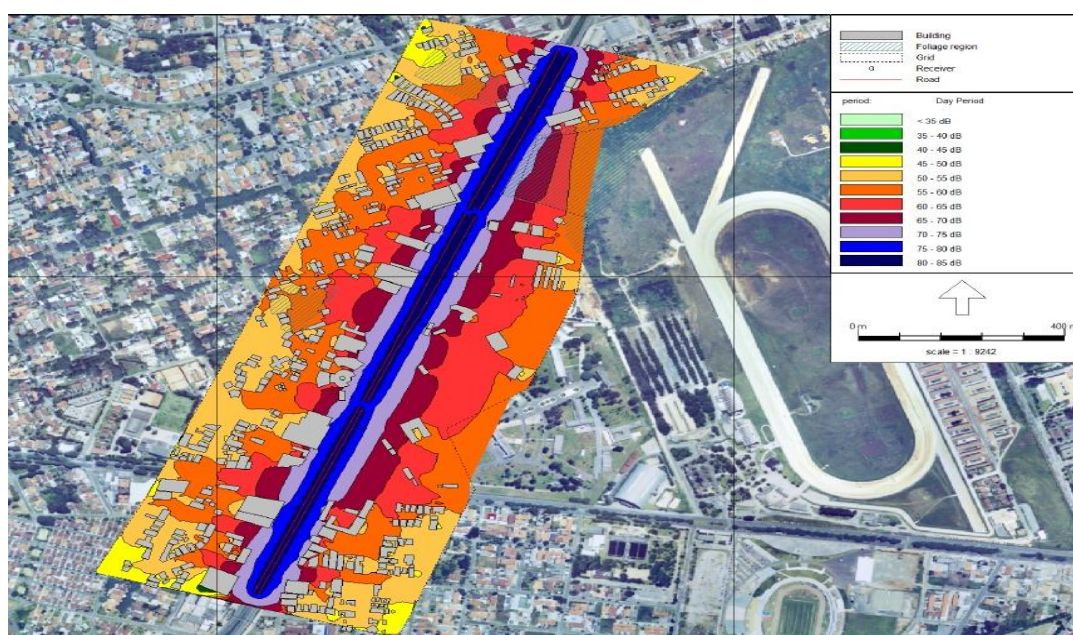


APÊNDICE 12 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 2  
 FONTE: A AUTORA, (2013)



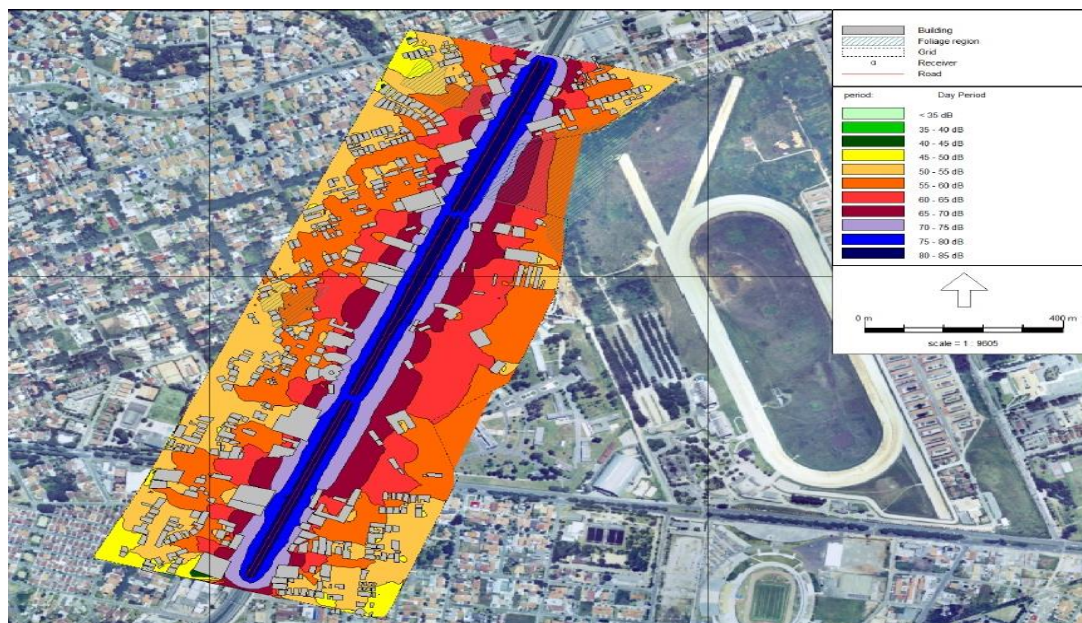


APÊNDICE 13 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)

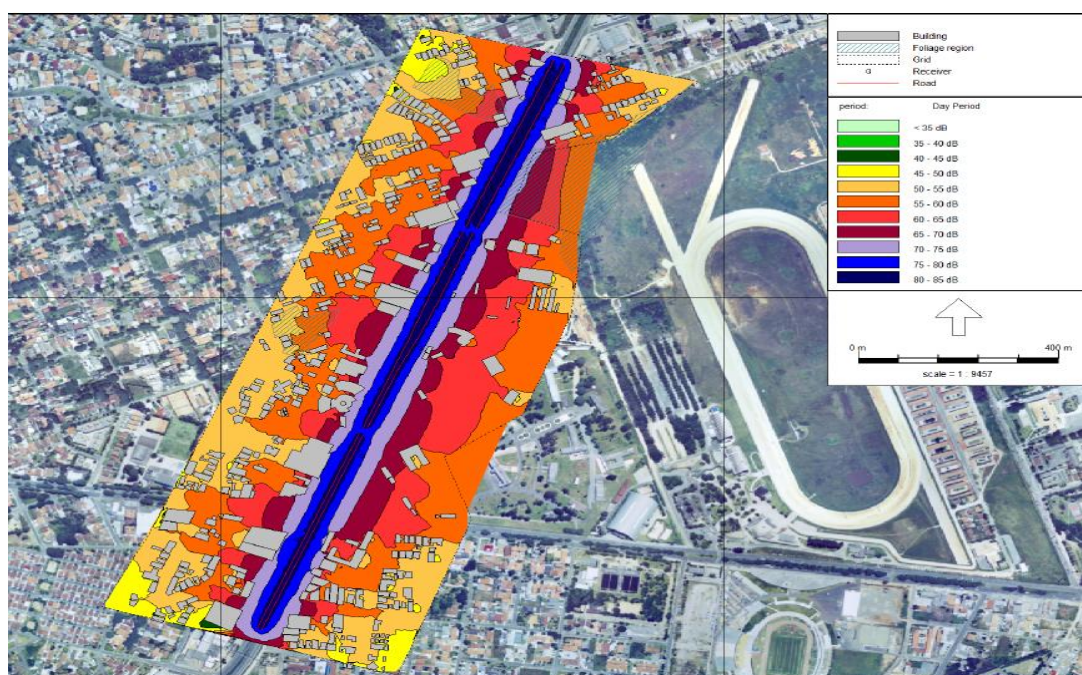


APÊNDICE 14 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)



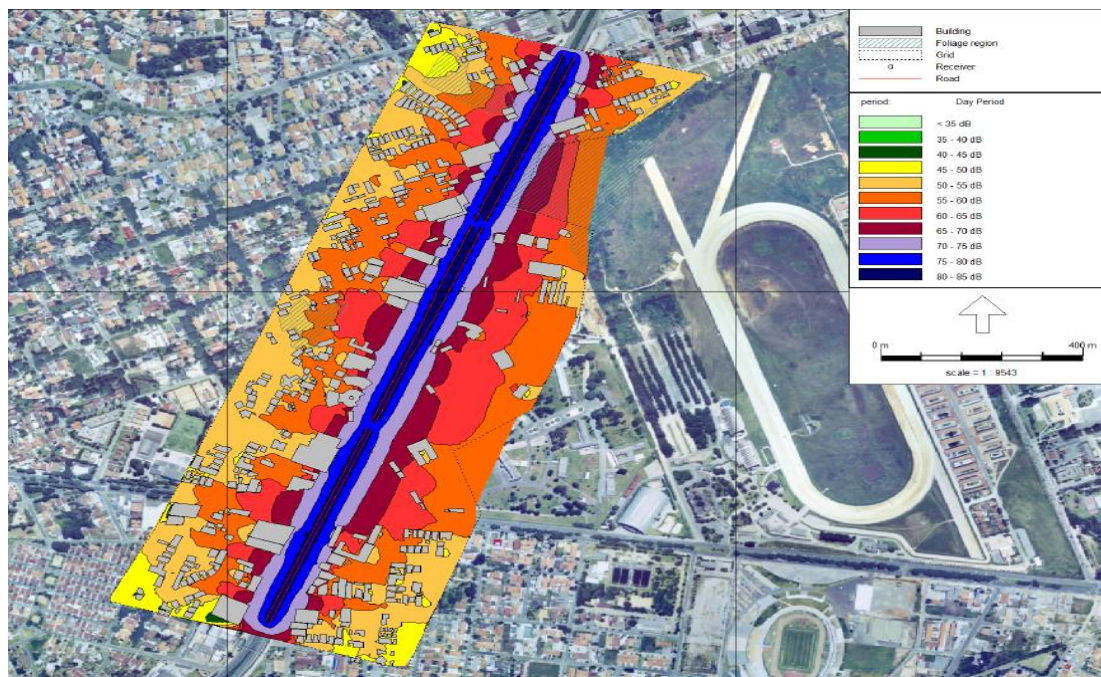


APÊNDICE 15 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)

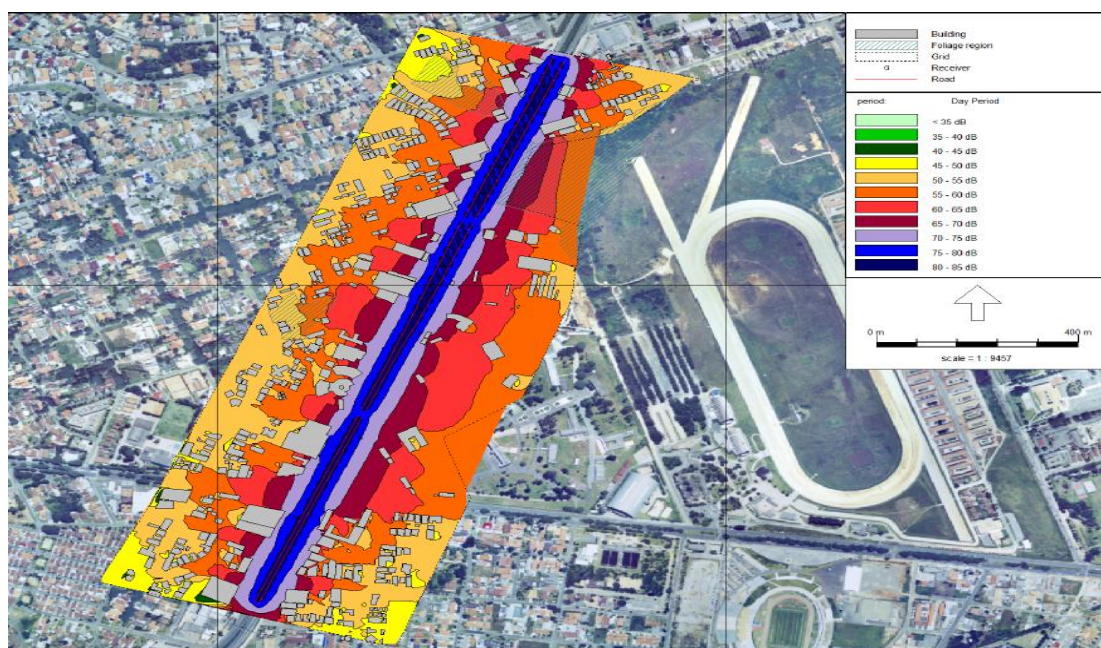


APÊNDICE 16 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)



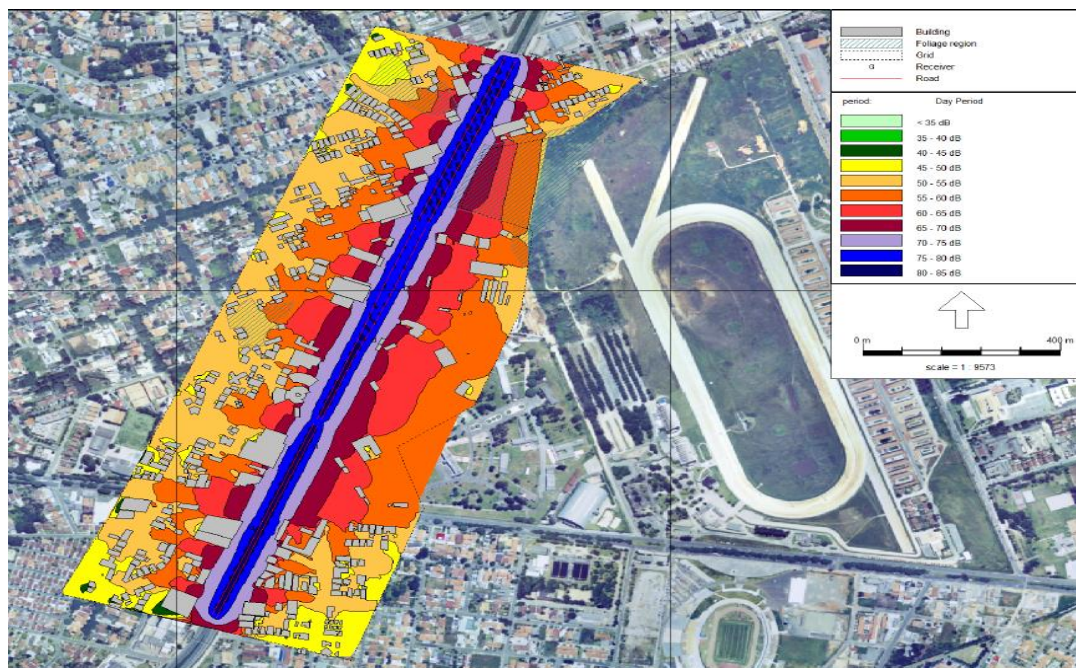


APÊNDICE 17 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)

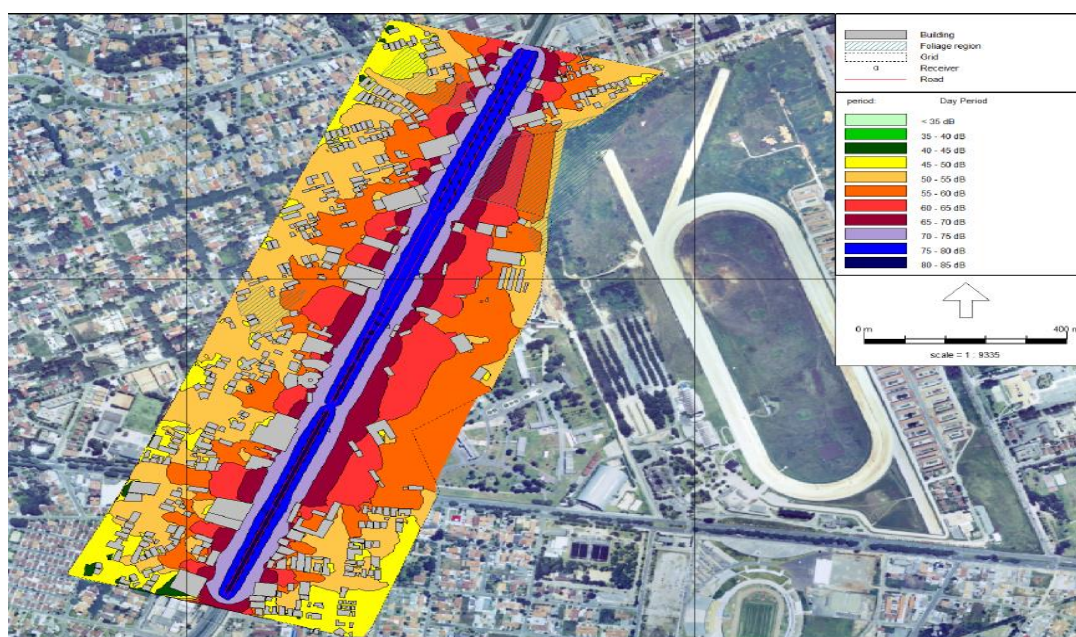


APÊNDICE 18 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)



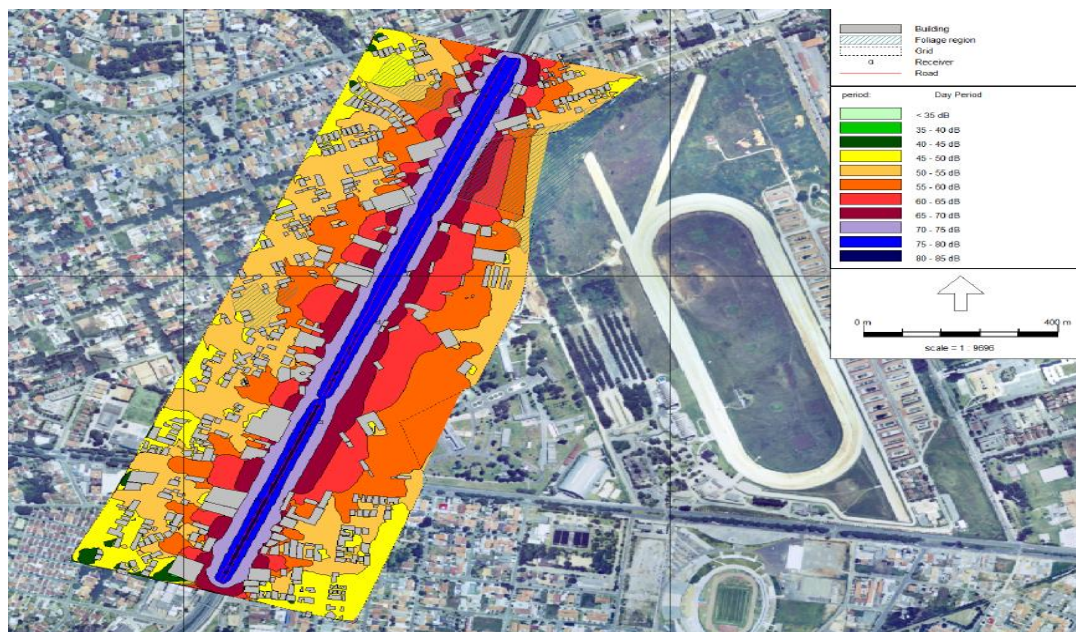


APÊNDICE 19 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)

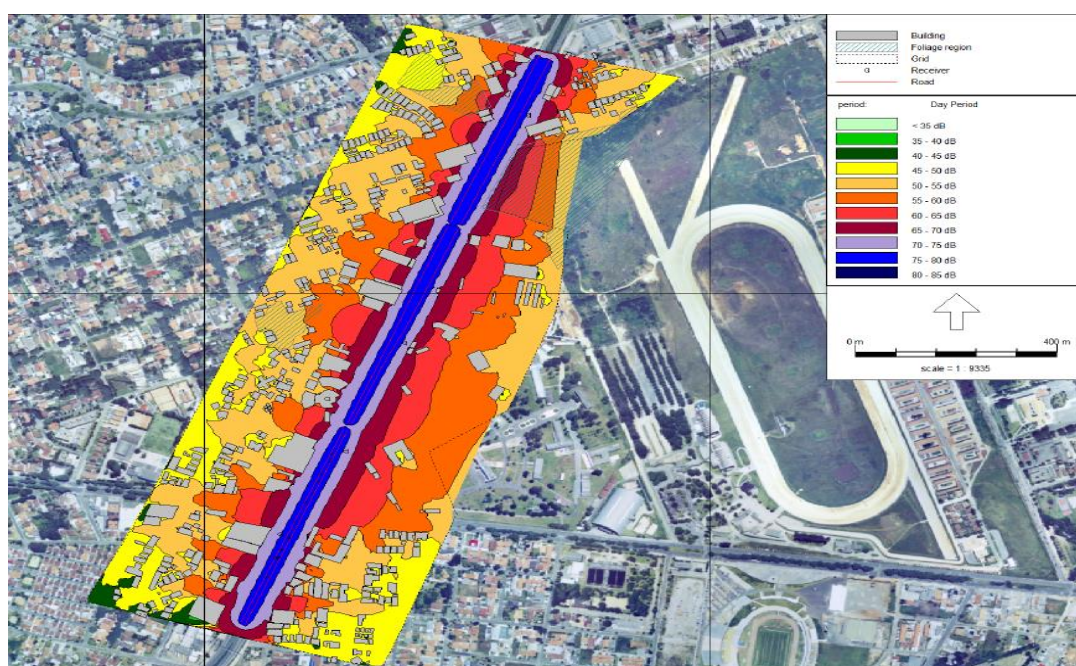


APÊNDICE 20 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)



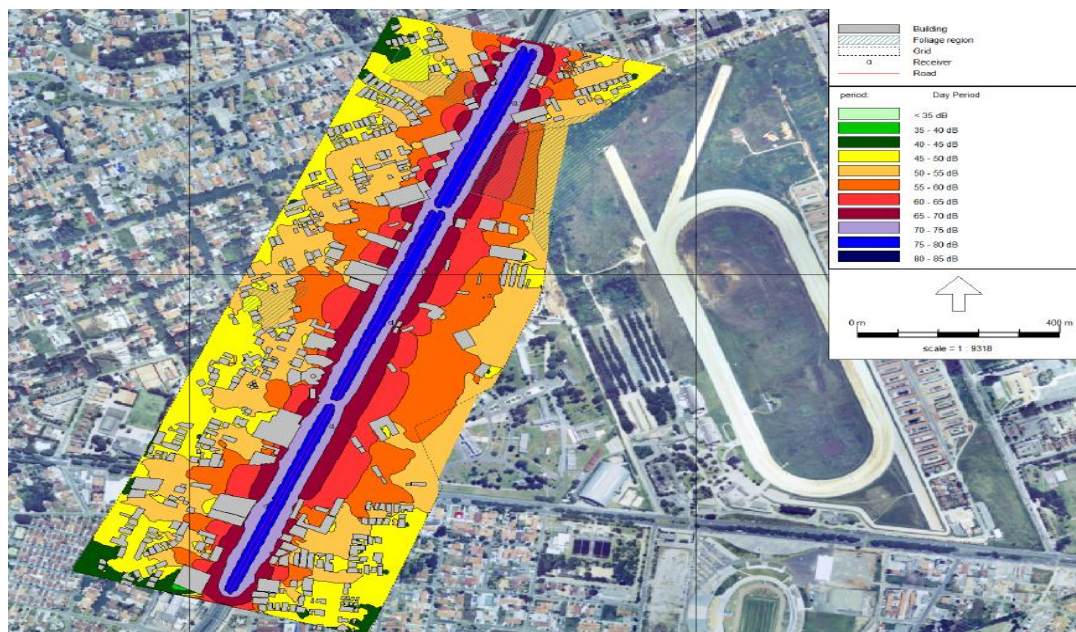


APÊNDICE 21 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)

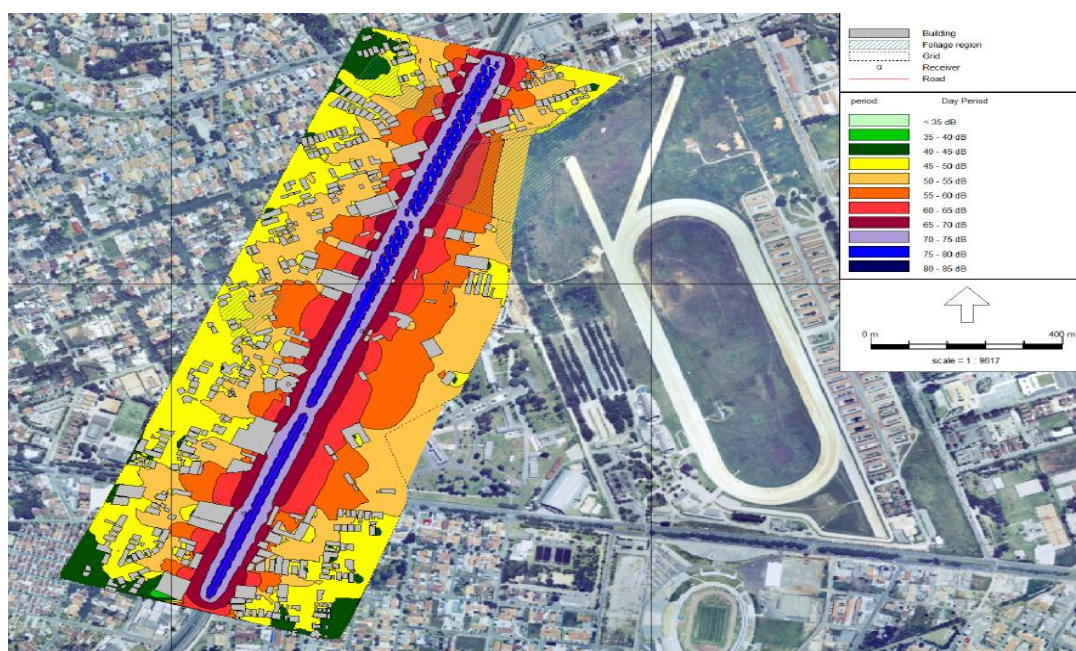


APÊNDICE 22 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)



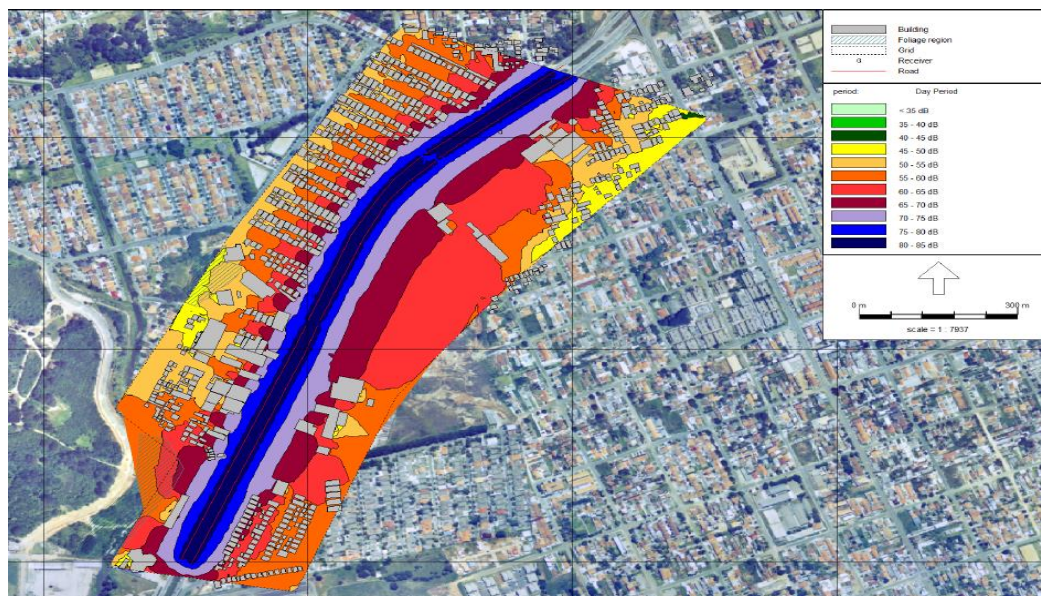


APÊNDICE 23 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)

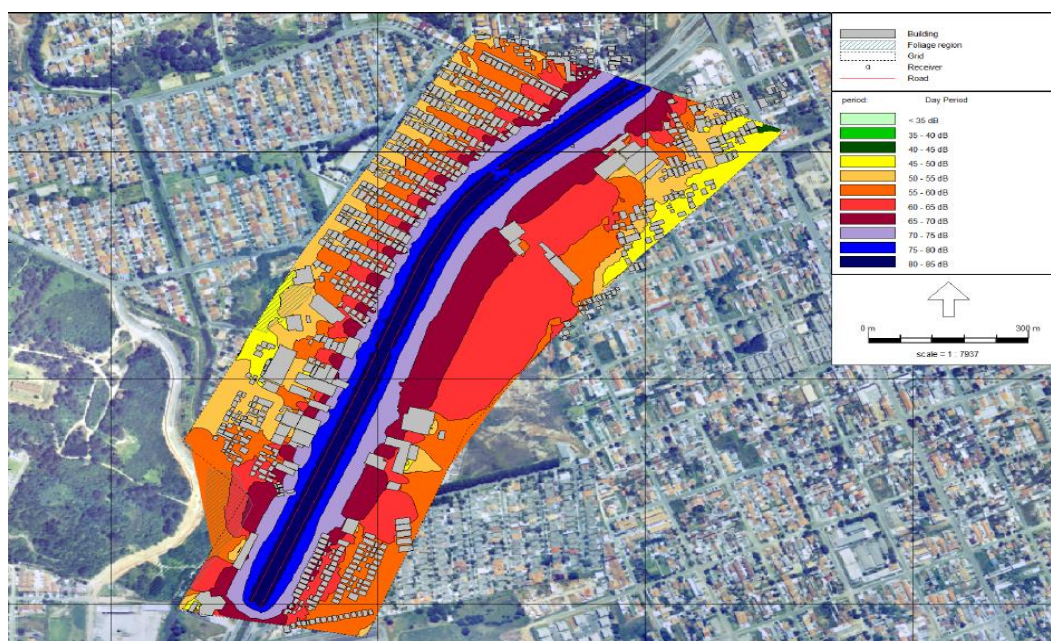


APÊNDICE 24 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 3  
FONTE: A AUTORA, (2013)



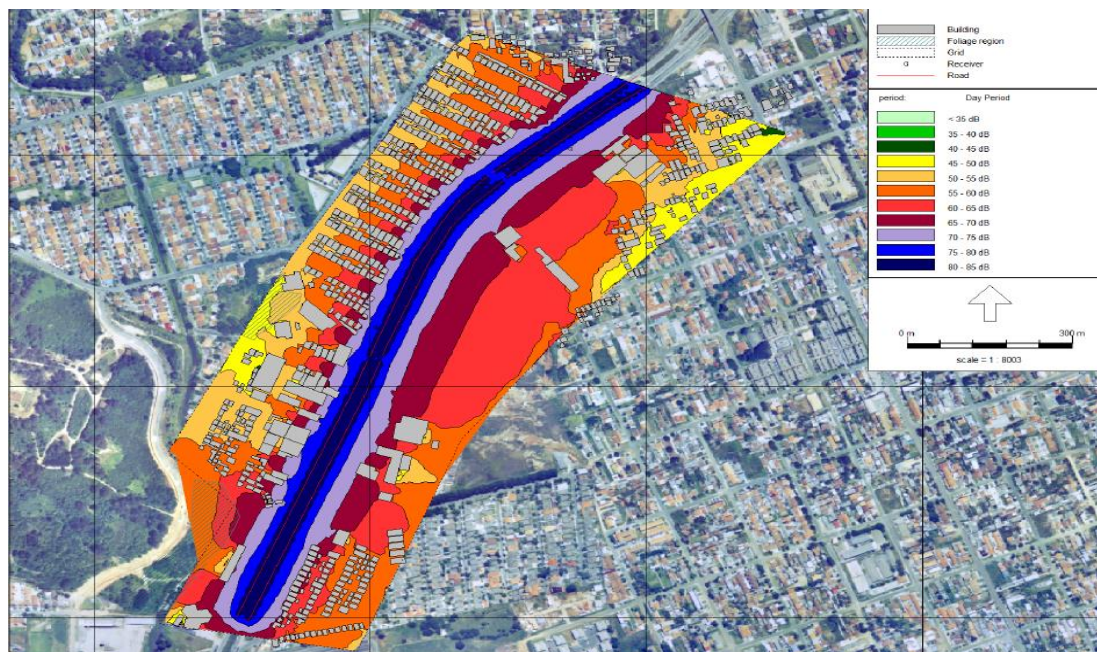


APÊNDICE 25 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, (2013)



APÊNDICE 26 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, (2013)



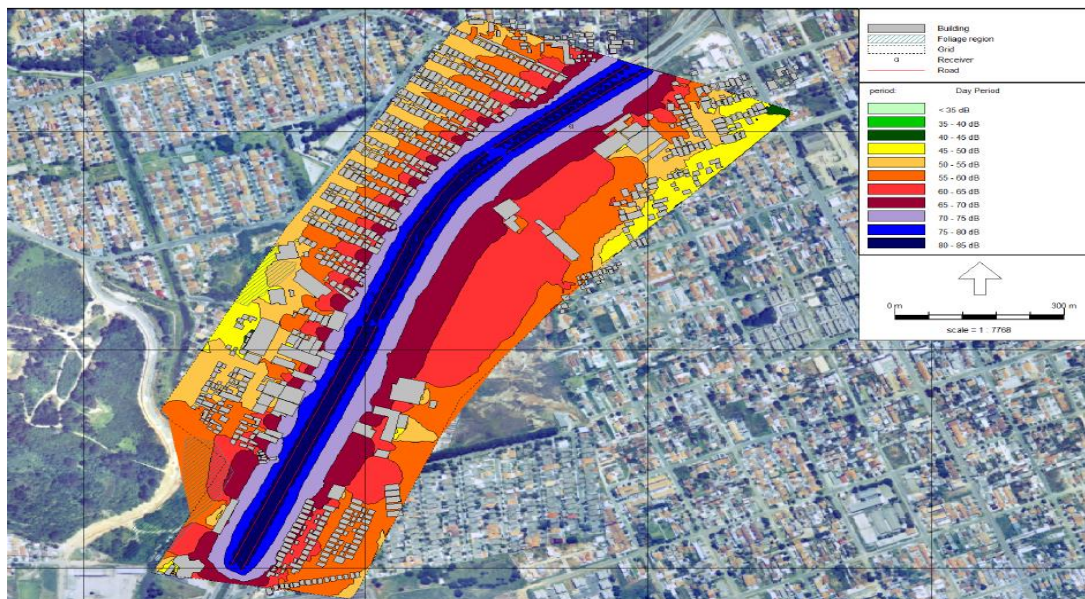


APÊNDICE 27 - MAPA DE RÚIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
 FONTE: A AUTORA, (2013)



APÊNDICE 28 - MAPA DE RÚIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
 FONTE: A AUTORA, (2013)



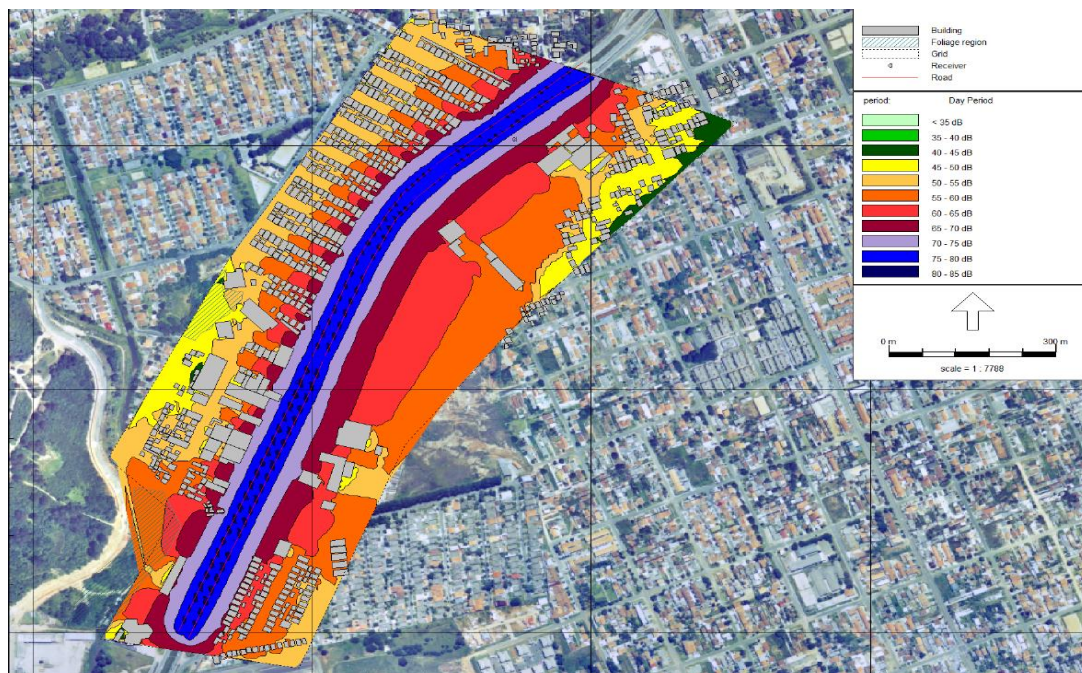


APÊNDICE 29 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
 FONTE: A AUTORA, (2013)

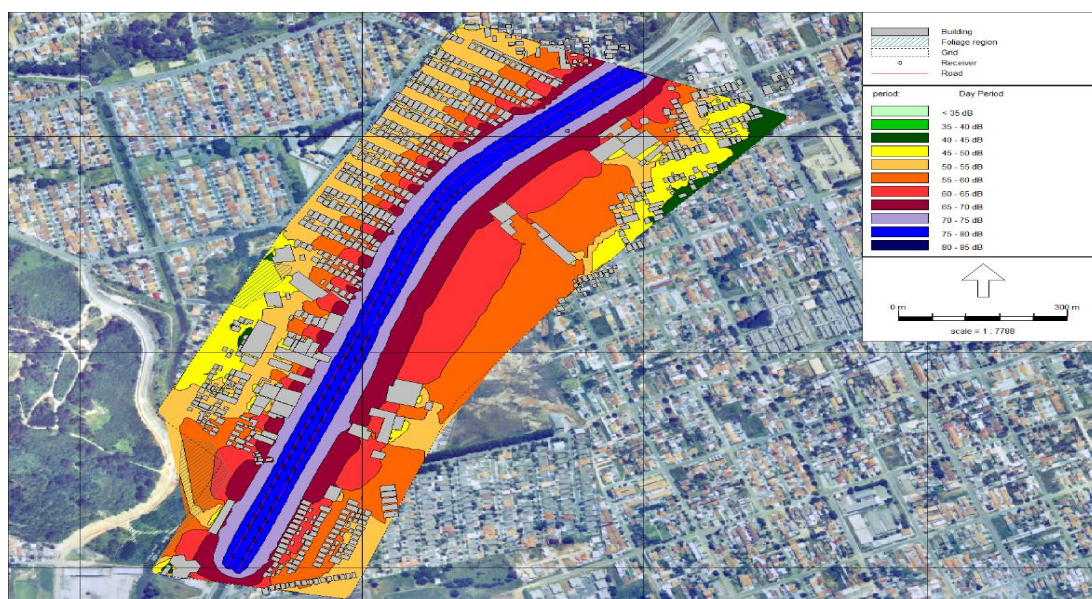


APÊNDICE 30 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
 FONTE: A AUTORA, (2013)



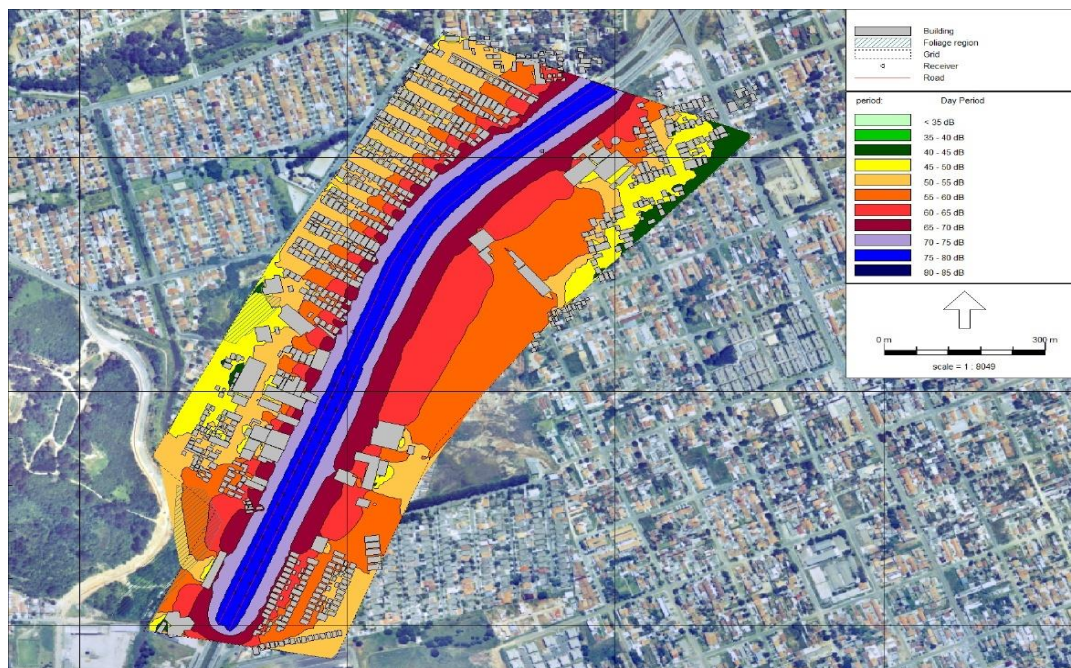


APÊNDICE 31 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, 2013.

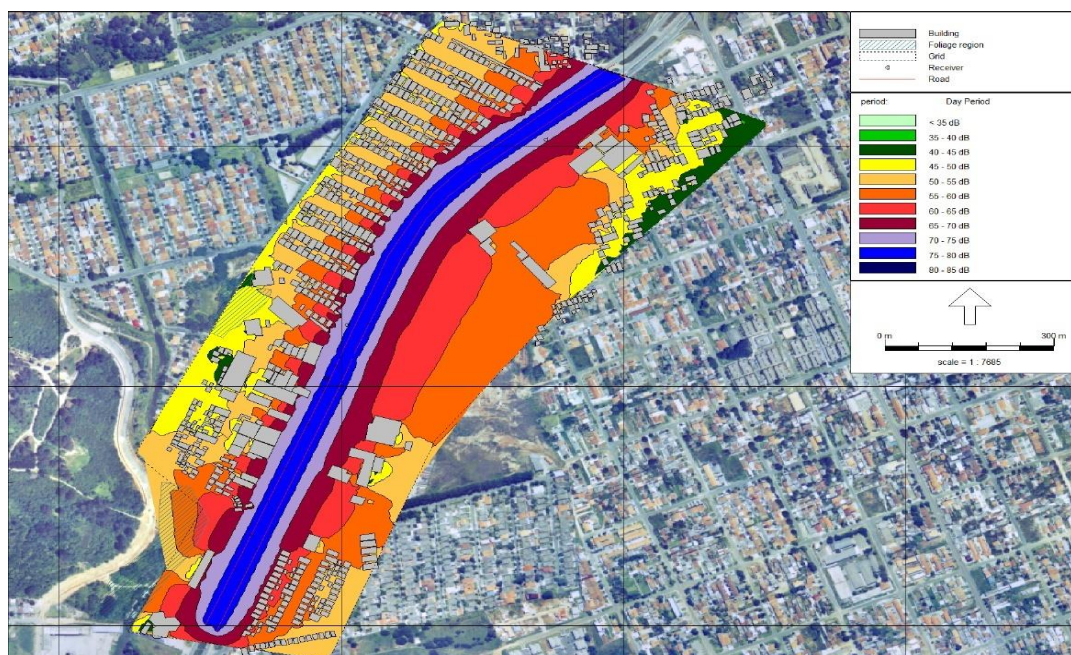


APÊNDICE 32 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, 2013.



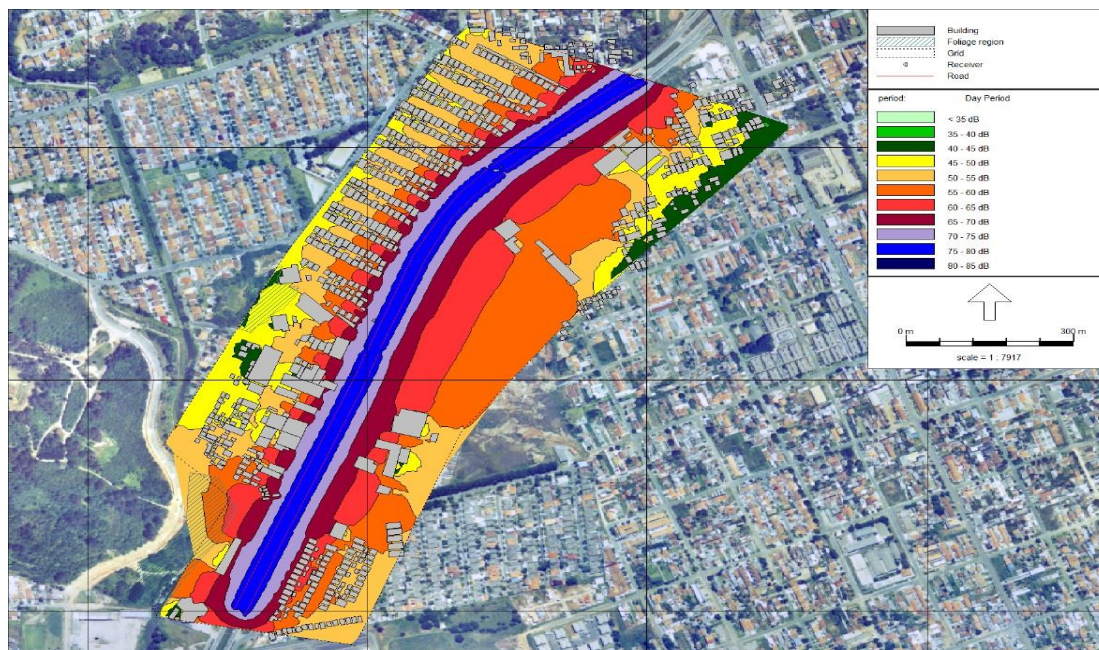


APÊNDICE 33 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, 2013.

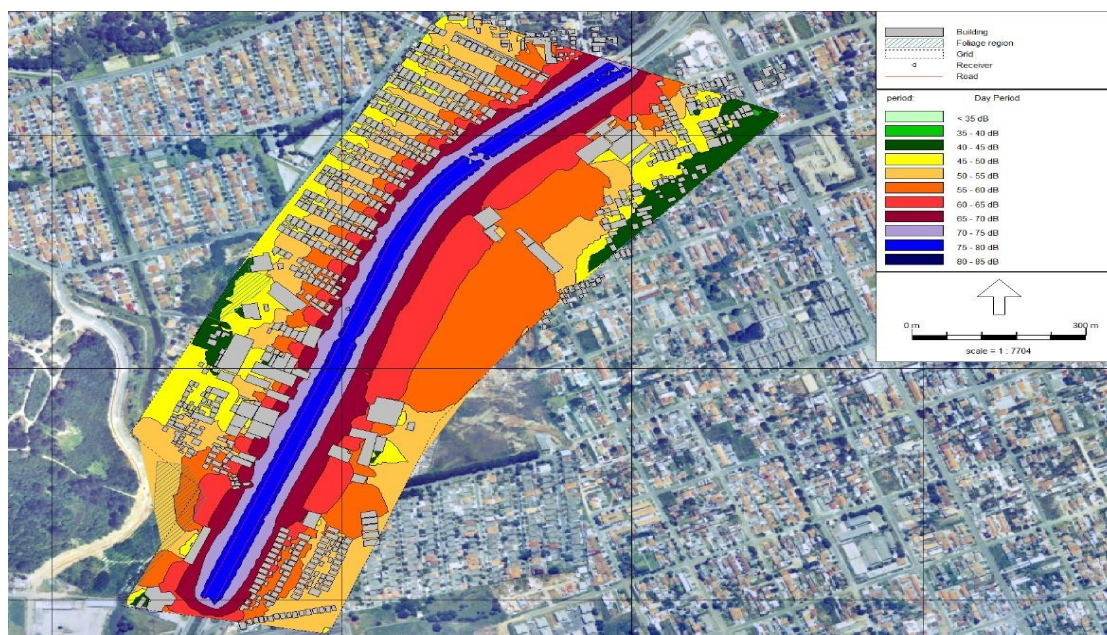


APÊNDICE 34 - MAPA DE RUÍDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, 2013.





APÊNDICE 35 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, 2013.



APÊNDICE 36 - MAPA DE RUIDO COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DO TRÁFEGO PARA O LOTE 5  
FONTE: A AUTORA, 2013.