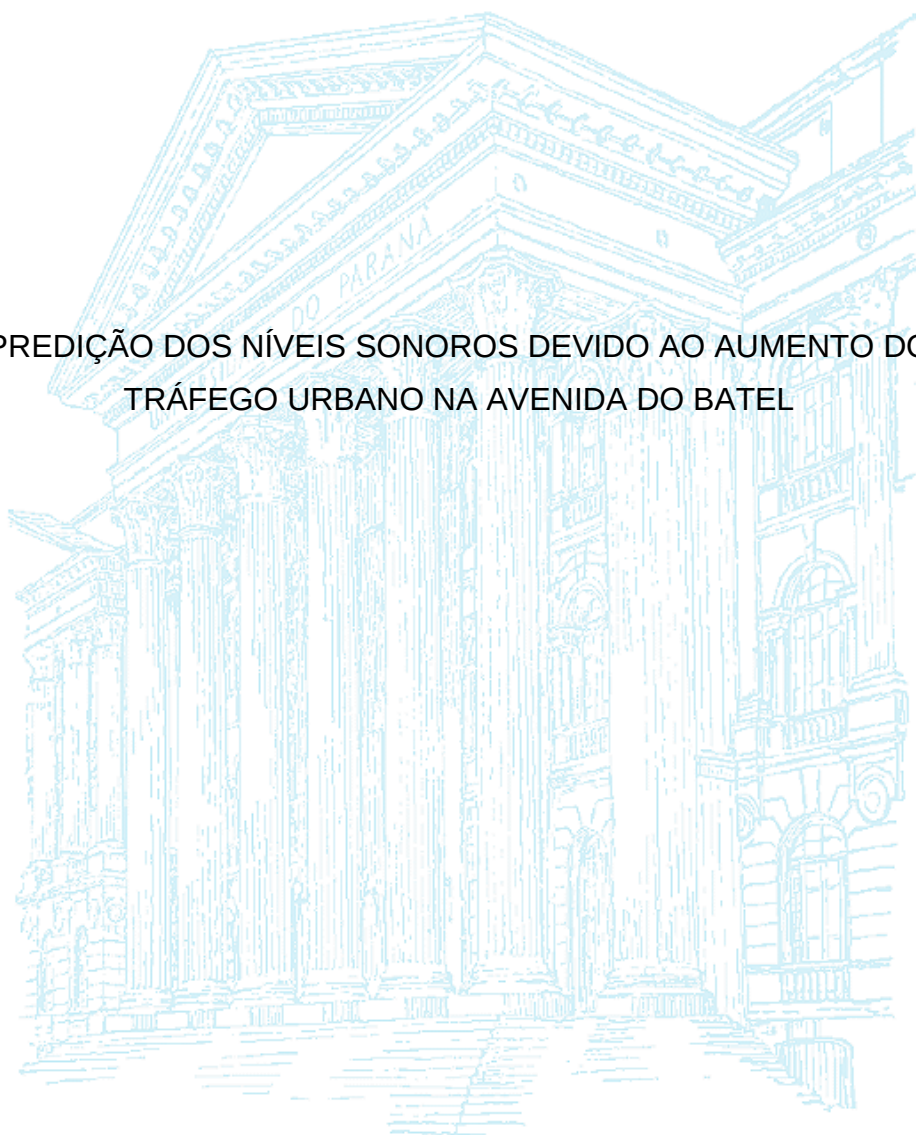


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Gabriele Sturm

PREDIÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS DEVIDO AO AUMENTO DO
TRÁFEGO URBANO NA AVENIDA DO BATEL



Curitiba
2014

Gabriele Sturm

PREDIÇÃO DOS NÍVEIS SONOROS DEVIDO AO AUMENTO DO
TRÁFEGO URBANO NA AVENIDA DO BATEL

Trabalho apresentado como requisito à obtenção do grau de Engenheira Ambiental no curso de graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Exatas da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Profº Paulo Henrique Trombetta Zannin

Curitiba
2014

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível:

Em primeiro lugar, a Deus que iluminou o meu caminho e me deu força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Ao professor Paulo Henrique Trombetta Zannin, pela orientação, apoio e confiança.

A minha mãe Marisa e meus irmãos Isabele e Gabriel que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

A esta universidade e todos os professores do curso, que foram tão importantes na minha vida acadêmica e no desenvolvimento deste trabalho.

Meus agradecimentos a todos os meus amigos, especialmente a Melina, Patrícia, Rena, Érika, João, Gabriel, Rodrigo e Rafael, companheiros nessa jornada acadêmica e irmãos na amizade, sem os quais meus dias teriam sido bem menos divertidos.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, não apenas como profissional, mas também como pessoa, meu muito obrigada!

RESUMO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), ruído é todo som indesejável que pode causar perturbações ao sossego público e/ou produzir efeitos fisiológicos e psicológicos negativos aos seres humanos e animais, tais como insônia, estresse, dores de cabeça, irritação, entre outros. A ocorrência de ruído em nível nocivo à saúde, ao bem-estar público e à qualidade de vida é caracterizada como poluição sonora, cujos níveis têm aumentado consideravelmente, principalmente devido ao crescimento demográfico desordenado. Estudos realizados em várias cidades têm revelado que o ruído de tráfego é o maior contribuinte para os níveis sonoros medidos e a maior causa de incômodo em áreas urbanas. Dados do Departamento de Trânsito do Paraná (DETRAN-PR, 2014) mostram que entre as cidades paranaenses Curitiba é a que apresenta o maior número de veículos, chegando a um total de 1.378.792 em 2014. Esse valor é aproximadamente 3,5% maior que o apresentado em 2013, o qual totalizava 1.331.277 veículos. Este número, por sua vez, é 3,6% maior que o total de 2012, 1.282.839 veículos. Com isso, pode-se inferir que anualmente a quantidade de automóveis que circulam pela cidade sofre um incremento significativo de aproximadamente 3,5%, tendo como consequência um aumento nos níveis de pressão sonora sentidos pela população residente na cidade. Este estudo tem como principal objetivo analisar os efeitos do aumento no número de veículos nos níveis sonoros na região da Avenida do Batel atualmente e nos próximos dez anos, simulando computacionalmente através do acréscimo da porcentagem estimada acima para os anos de 2019 e 2024. Os mapas de ruído foram gerados no software PREDICTOR v.8.11, que é uma ferramenta adequada para o estudo de impacto ambiental sonoro. Para obtenção dos dados necessários foram realizadas medições em 11 (onze) pontos, seguindo os procedimentos de medição estipulados pela NBR 10.151, além da contagem do fluxo de veículos nos pontos medidos. Os resultados mostraram que o incremento na frota veicular em Curitiba ao longo dos anos trará um aumento dos níveis sonoros, e por consequência, efeitos negativos para a saúde humana. Isso demonstra a importância do estudo do impacto ambiental causado pelo ruído urbano, já que este tem efeitos diretos na qualidade de vida da população e, por isso, é essencial que sejam tomadas medidas para atenuar esses efeitos contribuindo assim, para um bom planejamento urbano. Com isso, o estudo também propõe duas medidas mitigadoras e seus resultados em relação ao ruído na região.

Palavras-chave: ruído, poluição sonora, Avenida do Batel, planejamento urbano.

ABSTRACT

According to the World Health Organization (WHO), every noise is unwanted sound that may disturb the public peace and / or produce adverse physiological and psychological effects on humans and animals, such as insomnia, stress, headaches, irritation, among others. The occurrence of noise level harmful to health, public welfare and quality of life is characterized as noise pollution, whose levels have increased considerably, mainly due to uncontrolled population growth. Studies conducted in various cities have revealed that the traffic noise is the largest contributor to the measured sound levels and the major cause of discomfort in urban areas. Data from the Traffic Department of Paraná (PR-DETRAN, 2014) shows that among cities Paraná Curitiba is the one with the largest number of vehicles, reaching a total of 1,378,792 in 2014. This amount is approximately 3.5% higher than presented in 2013, which totaled 1,331,277 vehicles. This number in turn is greater than 3.6% of the total 2012, 1,282,839 vehicles. With this, we can infer that each year the amount of cars driving through the city suffers a significant increase of approximately 3.5%, resulting in an increase in sound pressure levels experienced by the resident population in the city. This study aims to analyze the effects of the increase in the number of vehicles on the noise levels in the Batel Avenue region today and over the next decade, computationally simulated by adding up the estimated percentage for the years 2019 and 2024. The maps noise were generated in PREDICTOR v.8.11 software, which is an appropriate tool for the study of sound environmental impact. To obtain the necessary data measurements were performed in 11 (eleven) points following measurement procedures stipulated by NBR 10.151, besides counting the flow of vehicles in the measured points. The results showed that the increase in the vehicle fleet in Curitiba over the years will increase noise levels, and consequently, adverse effects for human health. This demonstrates the importance of studying the environmental impact of urban noise, since it has direct effects on quality of life of the population and therefore it is essential that measures be taken to mitigate these effects thus contributing to good urban planning. With this, the study also proposes two mitigation measures and their outcomes in relation to noise in the region.

Keywords: noise, noise pollution, Batel Avenue, urban planning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - DENSIDADE DEMOGRÁFICA DOS DEZ BAIRROS MAIS DENSOS DE CURITIBA.....	11
FIGURA 02 – BAIRROS COM MAIOR POPULAÇÃO DE IDOSOS DE CURITIBA. .	15
FIGURA 03 - PORCENTAGEM DE PESSOAS COM MAIS DE 60 ANOS RESIDENTES NO BAIRRO BATEL.	16
FIGURA 04 - BAIRRO BATEL NO INÍCIO DO SÉCULO XX.....	17
FIGURA 05 - AVENIDA DO BATEL PASSANDO POR OBRAS DE REFORMA.	17
FIGURA 06 - COLOCAÇÃO DO NOVO CALÇAMENTO NA AVENIDA DO BATEL.	18
FIGURA 07 - AVENIDA BATEL APÓS AS OBRAS.	18
FIGURA 08 - EXTENSÃO DO MONITORAMENTO NA AVENIDA DO BATEL.	19
FIGURA 09 - EFEITOS NEGATIVOS RELACIONADOS AO RUÍDO.	23
FIGURA 10 - GRÁFICO PARA A SOMA DE NÍVEIS SONOROS.....	34
FIGURA 11 - CURVAS DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO (NC).....	38
FIGURA 12 – ZONEAMENTO DA ÁREA CENTRAL DE CURITIBA.....	40
FIGURA 13 – PONTOS DE MEDIÇÃO.	47
FIGURA 14 - MEDIDOR SONORO BRÜEL & KJAER, MODELO BK-2250.....	48
FIGURA 15 - LEGENDA UTILIZADA NO MAPEAMENTO ACÚSTICO.	49
FIGURA 16 - COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO NA AVENIDA DO BATEL.	52
FIGURA 17 - MAPA ACÚSTICO - 2014.....	55
FIGURA 18 - MAPA ACÚSTICO - 2019.....	56
FIGURA 19 - MAPA ACÚSTICO - 2024.....	57
FIGURA 20 - COMPARAÇÃO ENTRE 2014 E 2024.	58
FIGURA 21 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA.....	59
FIGURA 22 - SIMULAÇÃO PARA 2024 COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DA VIA.	60
FIGURA 23 - COMPARAÇÃO DOS VALORES SIMULADOS PARA 2024, COM E SEM A MEDIDA MITIGADORA DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE NA VIA.	60
FIGURA 24 - SIMULAÇÃO PARA 2024 COM A MEDIDA MITIGADORA DE PROIBIÇÃO DE VEÍCULOS PESADOS NA VIA.	62
FIGURA 25 - COMPARAÇÃO NOS VALORES SIMULADOS PARA 2024, COM E SEM A MEDIDA MITIGADORA DE PROIBIÇÃO DE PESADOS.....	62

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM DB.	37
TABELA 02 - VALORES DE DB E CORRESPONDENTE NC.	38
TABELA 03 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS	40
TABELA 04 - QUANTIDADE DE VEÍCULOS OBSERVADOS EM 10 MINUTOS.	51
TABELA 05 - QUANTIDADE DE VEÍCULOS OBSERVADA, EXTRAPOLADA PARA UMA HORA.	52
TABELA 06 - PREDIÇÃO DA QUANTIDADE DE VEÍCULOS PARA 5 ANOS, RESPECTIVO AO ANO DE 2019.	52
TABELA 07 - PREDIÇÃO DA QUANTIDADE DE VEÍCULOS PARA 10 ANOS, RESPECTIVO AO ANO DE 2024.	53
TABELA 08 - CALIBRAÇÃO DO MODELO COM DADOS DE 2014.	53
TABELA 09 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2019.	54
TABELA 10 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2024.	54
TABELA 11 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2024, CONSIDERANDO UMA MEDIDA DE REDUÇÃO DA VELOCIDADE DA VIA.	59
TABELA 12 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2024, CONSIDERANDO UMA MEDIDA DE PROIBIÇÃO DE VEÍCULOS PESADOS NA VIA.	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo Geral	13
2.2	Objetivos Específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Local de estudo	14
3.2	Som e Ruído	19
3.3	Ruído de Tráfego	20
3.3.1	Ruído Proveniente da Força de Tração Unitária do Veículo	22
3.3.2	Ruído Proveniente da Interação Pneu/ Pavimento	22
3.4	Impacto do Ruído na Saúde Humana	22
3.5	Ruído como Impacto Ambiental	25
3.6	Propriedades do som	26
3.6.1	Absorção sonora.....	26
3.6.2	Reflexão sonora.....	26
3.6.3	Difração sonora.....	27
3.6.4	Propagação sonora	27
3.6.5	Velocidade do som	27
3.6.6	Frequência do som	28
3.6.7	Fonte sonora.....	28
3.6.8	Potência sonora (W)	29
3.6.9	Intensidade sonora (I).....	29
3.6.10	Pressão sonora.....	29
3.7	Medição do ruído.....	30
3.7.1	Nível de Pressão Sonora	30

3.7.2	Adição de níveis sonoros	33
3.7.3	Subtração de níveis sonoros.....	34
3.7.4	Interferência da distância	34
3.7.5	Nível Equivalente	35
3.8	Aspectos normativos	35
3.8.1	NBR 10.151/2000	36
3.8.2	NBR 10.152/1987	37
3.8.3	Lei Municipal 9.800/2000 – Prefeitura de Curitiba	39
3.8.4	Lei Municipal 10.625/2002– Prefeitura de Curitiba	40
3.8.5	Resoluções CONAMA.....	43
3.9	Medidas de mitigação	44
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	47
4.1	Local da avaliação.....	47
4.2	Equipamentos e procedimentos de medição	47
4.3	Mapeamento acústico	49
4.4	Medidas mitigadoras	50
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1	Contagem de veículos e estimativa de velocidade.....	51
5.2	Nível de pressão sonora equivalente	53
5.3	Mapeamentos acústicos.....	54
5.4	Comparação com a legislação	58
5.5	Medidas mitigadoras	59
6	CONCLUSÕES	64
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), Curitiba está entre as dez cidades mais populosas do Brasil tendo, em 2010, uma população aproximada de 1.751.907 pessoas. Há estimativas de que esse valor chegue a 1.864.416 habitantes em 2014, um aumento populacional que traz diversas consequências, entre as quais podemos citar o aumento na frota de veículos que circulam pela cidade.

Dados do Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN, 2014) mostram que em 2014 o Paraná foi apontado como o terceiro estado brasileiro com o maior número de carros, motocicletas, ônibus e caminhonetes circulando em vias públicas, num total de 6.580.546 veículos. O estado ficou atrás apenas de São Paulo (25.328.371 veículos) e Minas Gerais (9.237.239). Com isso, a frota paranaense corresponde a 7,75% dos quase 85 milhões de veículos registrados em todo o País.

Dados do Departamento de Trânsito do Paraná (DETRAN-PR, 2014) mostram que entre as cidades paranaenses Curitiba é a que apresenta o maior número de veículos, chegando a um total de 1.378.792 em 2014. Esse valor é aproximadamente 3,5% maior que o apresentado em 2013, o qual totalizava 1.331.277 veículos. Este número, por sua vez, é 3,6% maior que o total de 2012, 1.282.839 veículos. Com isso, pode-se inferir que anualmente a quantidade de automóveis que circulam pela cidade sofre um incremento significativo de aproximadamente 3,5%, o qual pode gerar inúmeros problemas na saúde e qualidade de vida da população, como aqueles resultantes da poluição sonora.

A poluição sonora é caracterizada por ruídos acima dos limites estabelecidos pela legislação e que são capazes de provocar efeitos negativos à saúde humana, como insônia, estresse, dores de cabeça, dificuldades de concentração e, em casos extremos, perda de audição. Para a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição sonora passou a ser considerada uma das três prioridades ecológicas para a próxima década, uma vez que, apenas atrás da poluição do ar e da água, é o problema que afeta o maior número de pessoas.

Estudos realizados em várias cidades têm revelado que o ruído de tráfego é o maior contribuinte para os níveis sonoros medidos e a maior causa de incômodo em áreas urbanas (FIDEL, 1978; GRIFFITHS AND LANGDON, 1986; MASCHKE, 1999;

ZANNIN et al., 2001; ZANNIN et al., 2002; ZANNIN et al., 2003; GERGES, 2004). Para o pesquisador Celso Antonio Pacheco Fiorillo, os veículos representam a principal fonte de ruídos urbanos, sendo responsáveis por cerca de 80% das perturbações sonoras.

Dados fornecidos pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2010) sobre a densidade populacional dos bairros de Curitiba mostram que o Centro é o mais denso, apresentando 113,56 habitantes por Hectare (FIGURA 01).

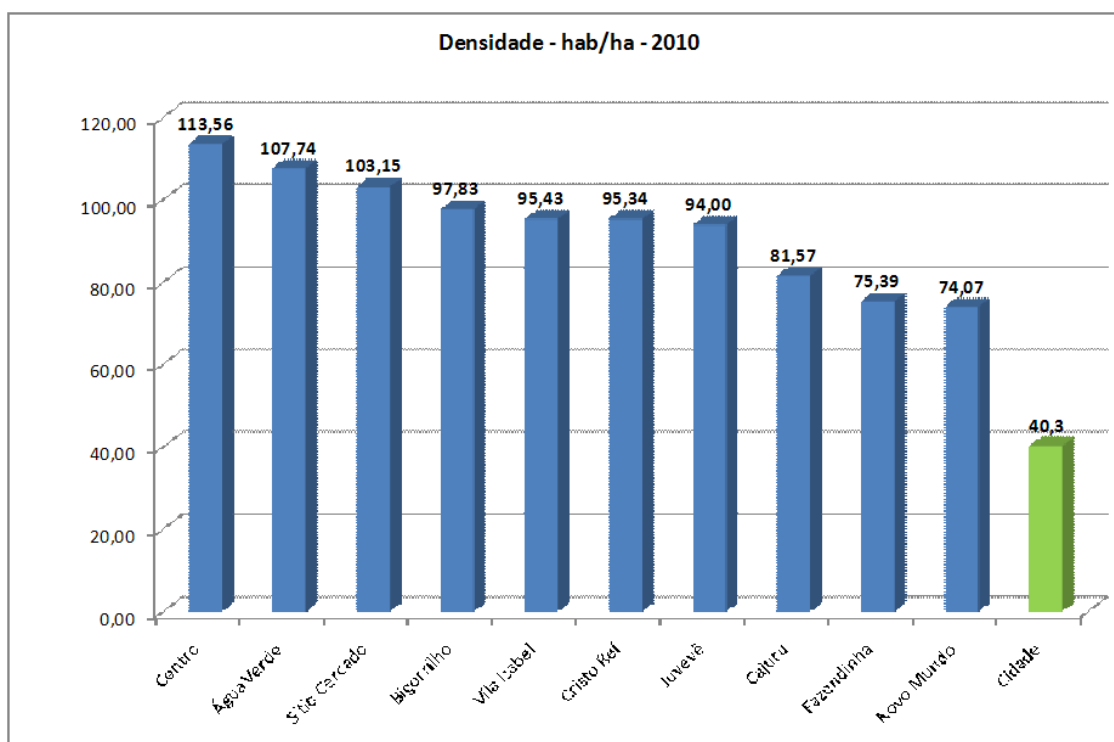


FIGURA 01 - DENSIDADE DEMOGRÁFICA DOS DEZ BAIRROS MAIS DENSOS DE CURITIBA. FONTE: IPPUC, 2010.

Na região central de Curitiba não há apenas a população residente transitando pelo bairro, mas também parte da população de Curitiba que diariamente vai ao centro e imediações, com intuito de lazer, obrigações ou por motivos de trabalho.

Tendo em vista o aumento populacional das últimas décadas em Curitiba, a densidade populacional nessa região e o consequente aumento no número de veículos já mencionado, a região central mostra-se um importante local a ser estudado, no que diz respeito aos níveis sonoros observados.

Diante do exposto, pode-se perceber que todos esses fatores contribuem significativamente para o aumento dos níveis de ruído e, consequentemente, da

poluição sonora da cidade. Dessa forma, este estudo busca analisar os efeitos nos níveis de pressão sonora em uma das principais vias da região, a Avenida do Batel, que se inicia no Centro da cidade com a denominação Rua Doutor Pedrosa, passando a seguir a chamar-se Rua Benjamin Lins e então Avenida do Batel no bairro Batel, passando a Rua Bispo Dom José, já no bairro Seminário.

O estudo foi realizado no ano de 2014 e consiste em comparar a situação acústica da região neste ano com simulações para daqui 5 e 10 anos, representando os anos de 2019 e 2024, respectivamente. Além disso, também foi estudado o resultado obtido através da implantação de duas medidas mitigadoras de ruído, sendo elas redução da velocidade na via e eliminação do tráfego de veículos pesados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar comparativamente os valores dos níveis de pressão sonora medidos em 2014 na Avenida do Batel com simulações para 5 e 10 anos, referentes aos anos 2019 e 2024, respectivamente.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar os níveis de pressão sonora na Avenida, através de medições, com o intuito de analisar como o tráfego interfere no ruído urbano;
- Caracterização do problema, apresentado sob a forma de mapas acústicos;
- Simulação dos níveis sonoros dos anos de 2019 e 2024;
- Comparação dos níveis sonoros obtidos no ano de 2014 com simulações;
- Comparação dos níveis sonoros obtidos na avenida com os níveis sonoros das legislações vigentes, demonstrando o impacto ambiental sonoro no local de estudo;
- Comparação dos níveis sonoros previstos para 2024 com resultados obtidos através da implementação de medidas de mitigação, através de simulações computacionais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Aqui serão apresentadas informações pertinentes ao local estudado, bem como alguns conceitos fundamentais da acústica, de forma a gerar subsídios para o estudo sobre o ruído urbano proveniente do tráfego, através de levantamentos bibliográficos, artigos científicos, legislações e normas.

3.1 Local de estudo

O estudo refere-se à Avenida do Batel, uma das principais vias públicas da cidade de Curitiba, localizada no bairro Batel, e às suas extensões, sendo elas a Rua Doutor Pedrosa, a Rua Benjamin Lins e a Rua Bispo Dom José. Doravante, neste trabalho, estes logradouros serão denominados apenas *Avenida Batel*, por ser considerada a mais histórica e importante dentre as vias estudadas.

A Avenida do Batel está localizada, em sua grande parte no Bairro Batel, um bairro residencial com aproximadamente 11 mil habitantes (Censo, 2010). Há também nessa região uma grande variedade de lojas, restaurantes e hotéis, além de nove hospitais e quatro shoppings centers de grande circulação.

O Batel está entre os bairros com maior porcentagem de idosos da cidade de Curitiba, de acordo com o Censo de 2010 (FIGURA 02).

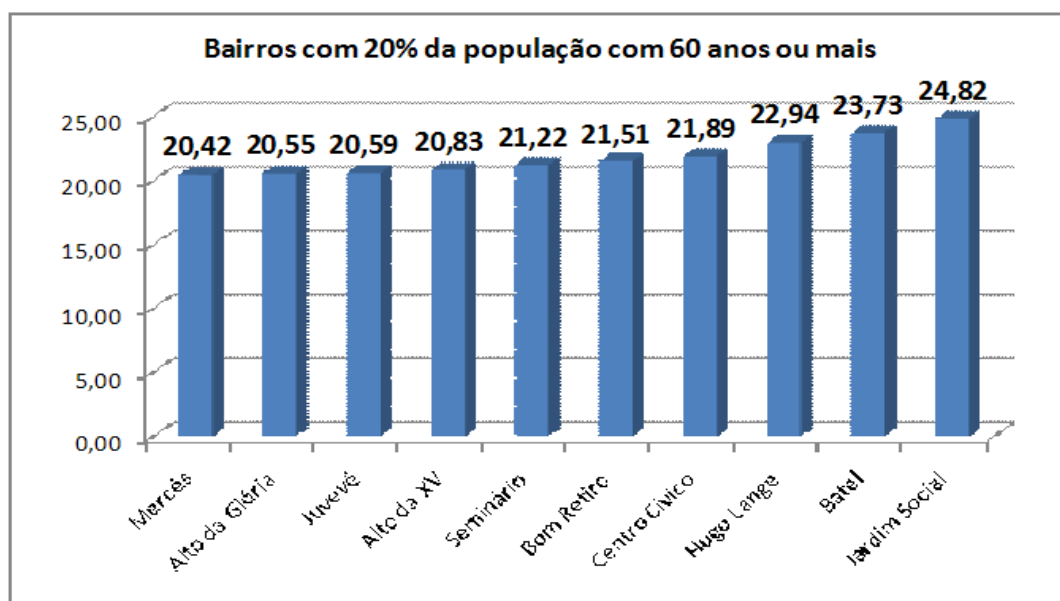


FIGURA 03 - PORCENTAGEM DE PESSOAS COM MAIS DE 60 ANOS RESIDENTES NO BAIRRO BATEL.

FONTE: IPPUC, 2010.

Segundo a definição do Dicionário Aurélio, Batel significa “embarcação pequena”. Estudos do Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná afirmam que a origem do nome do bairro está em um fato ocorrido em 1854, quando o alfaiate Torquato Paulino montou uma pequena embarcação para participar dos tradicionais festejos do Espírito Santo em São José dos Pinhais. A chegada do Batel de Torquato a São José foi triunfal, querendo todo o povo contemplá-lo e saborear as galinhas recheadas, os leitões assados, os pastéis, os croquetes e os refrescos vendidos por ele na festa. Ao regressar a Curitiba, o pequeno barco se acidentou, ficando abandonado no local durante muito tempo. O fato chamou a atenção dos curitibanos, que passaram a chamar a região em que esse fato ocorreu de Batel.

Existem, ainda, outras versões para a origem do nome, como o fato de residir no local um homem que se chamava Bathé e, com isso, o nome teria sido uma homenagem a ele.

No século 18, a atual Avenida do Batel era um dos caminhos utilizados por tropeiros. O desenvolvimento do bairro ocorreu no início do século XX, por volta de 1910, alavancado pela produção de madeira e de erva-mate, tornando a área do Batel predominantemente comercial. A FIGURA 04 mostra o Bairro Batel no início do século XX, fotografias do Acervo Julia Wanderley da Fundação Cultural de Curitiba.



FIGURA 04 - BAIRRO BATEL NO INÍCIO DO SÉCULO XX.
FONTE: SECRETARIA DE EDUCAÇÃO DO PARANÁ.

Nos últimos anos, a Avenida passou por uma renovação da paisagem urbana e uma melhoria na iluminação e nos asfalto (FIGURA 05). Foi realizado um projeto pela Prefeitura Municipal de Curitiba, no qual a Avenida do Batel recebeu calçadas com piso antiderrapante, além de novos postes de luz. No total, a obra alterou 5.200 metros quadrados de calçada no trecho entre a Avenida do Batel e a Rua Bispo Dom José, na qual foram colocadas peças de granito e peças de concreto (FIGURA 06). Além disso, também foram refeitos 980 metros de asfalto nessas ruas.



FIGURA 05 - AVENIDA DO BATEL PASSANDO POR OBRAS DE REFORMA.
FONTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2013.



FIGURA 06 - COLOCAÇÃO DO NOVO CALÇAMENTO NA AVENIDA DO BATEL.
FONTE: PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2013.

Atualmente, a Avenida é uma das principais vias da cidade de Curitiba, sendo conhecida pelos estabelecimentos comerciais e por ser bastante movimentada a noite, com restaurantes e casas noturnas (FIGURA 07).



FIGURA 07 - AVENIDA BATEL APÓS AS OBRAS.
FONTE: A AUTORA.

O escopo do estudo iniciou na Rua Bispo Dom José, no bairro Seminário. Então, passou pela Avenida do Batel que posteriormente passa a chamar-se Rua Benjamin Lins, terminando como Rua Doutor Pedrosa próximo a Praça Rui Barbosa já no Centro da cidade como mostra a figura abaixo (FIGURA 08).



FIGURA 08 - EXTENSÃO DO MONITORAMENTO NA AVENIDA DO BATEL.
FONTE: IPPUC, 2014.

3.2 Som e Ruído

O som é conceituado como a variação de pressão atmosférica dentro da banda de frequência audível ao ouvido humano. Os sons estão presentes no dia a dia das pessoas, como por exemplo, a música, o toque do telefone e os sons da natureza. Já o ruído é definido como um som indesejável, sendo normalmente o resultado de atividades humanas do dia a dia (HASSAL & ZAVERI, 1979). Portanto, a diferença entre som e ruído está apenas na percepção subjetiva das pessoas, pois constituem o mesmo fenômeno físico (GOELZER et al., 2001).

Para Gerges (2000), o ruído pode ser considerado como um conjunto de sons sem harmonia, sons confusos ou qualquer sensação auditiva que incomode ou perturbe o homem nas suas atividades, sendo assim associado, normalmente, a sons desagradáveis e indesejáveis. Já para Souza, Almeida e Bragança (2006), o ruído é o som que interfere no desempenho das atividades humanas.

3.3 Ruído de Tráfego

A poluição sonora é atualmente uma das principais formas de poluição ambiental, sendo responsável por impactos negativos com prejuízos ao meio ambiente e à qualidade de vida da população (BERGLUND et al., 1999; ROBINSON, 1971).

O aumento desse tipo de poluição está ligado diretamente ao alto índice de crescimento demográfico da população urbana e ao consequente aumento das fontes geradoras de poluição sonora, tais como o aumento das atividades de construção civil e aumento da demanda de veículos (ZANNIN et al., 2002).

O ruído proveniente do tráfego de veículos é a parcela que mais contribui com o aumento do ruído urbano, uma vez que, em termos de duração, é considerado permanente e não pontual, isto é, não se limita a uma única área (BROWN, 1994).

De acordo com Bragança, Freitas e Pinheiro (2009), o tráfego rodoviário acarreta fortes impactos no ambiente, na saúde e na qualidade de vida das pessoas. O ruído gerado pelo tráfego urbano é produzido por vários veículos em diferentes posições, velocidades e acelerações, sendo resultante da sobreposição de vários ruídos provenientes de diferentes partes dos veículos.

Segundo Niemeyer e Slama (1998), aproximadamente 80% da energia acústica urbana são provenientes da circulação de veículos automotores, sendo que os automóveis quando estão em conjunto, são mais ruidosos do que os veículos pesados.

Para Nunes e Ribeiro (2008), devido ao crescimento da frota de veículos nas cidades e a falta de planejamento territorial para qualidade de vida nos centros urbanos, o ruído de tráfego é considerado como uma das maiores fontes de poluição sonora urbana, intensificando os efeitos negativos da exposição a altos níveis de pressão sonora da população.

Com o intuito de minimizar o problema do ruído proveniente de tráfego urbano, alguns países estão desenvolvendo leis que determinam a intensidade dos ruídos gerados pelos veículos. As normas brasileiras que estabelecem procedimentos referentes ao controle de ruído e conforto acústico são a NBR 10151 e a NBR 10152 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O controle do ruído a fim de atenuar a poluição sonora e seu efeito nocivo sobre as pessoas não propõe a eliminação da fonte causadora do ruído, mas sim uma manipulação e atenuação desse efeito. Todo controle de ruído envolve uma

fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor, permitindo formas de controle do ruído na fonte, no meio de propagação e no receptor. Para que a análise e atenuação do ruído sejam eficazes, Ramis et. al (2003) sugere que durante o desenvolvimento da pesquisa é importante diferenciar e separar o ruído de tráfego daquele gerado pelas atividades urbanas.

Segundo Bistafa (2006), o controle do ruído de tráfego (rodoviário, ferroviário e aéreo) tem papel importante no planejamento de novas vias ou ampliações, sendo que as estimativas do ruído para avaliação do impacto sonoro devem fazer parte de relatórios ambientais. Ele afirma ainda que essa estimativa deve envolver um processo complexo que necessita de programas computacionais específicos para uma modelagem detalhada do ruído.

Souza, Almeida e Bragança (2006) afirmam que a análise e controle do ruído de tráfego rodoviário devem considerar o tipo de rodovia, as condições de manutenção das vias, a velocidade dos veículos (quanto maior a velocidade, mais intenso será o ruído), o tipo de veículo (leve, médio ou pesado) e a hora do dia.

Para medir o ruído de tráfego pode-se utilizar o nível equivalente (L_{eq}), que é a medida da média energética temporal, independente das características aleatórias do ruído de tráfego, ou seja, não considera se o tráfego flui livremente ou se ocorrem congestionamentos, como no caso do tráfego urbano. Outra forma de medida do ruído de tráfego são os níveis estatísticos L_{10} , L_{50} e L_{90} , que são sensíveis às características aleatórias do tráfego, sendo mais difíceis de estimar (BISTAFA, 2006).

Silva (1971) propõe algumas alternativas para tentar solucionar o problema do ruído urbano, tais como a sistematização da rede viária através da distribuição e traçado das vias considerando os níveis de ruído, a regulamentação do tráfego através da regularização da distribuição do fluxo de veículos buscando descongestionar as vias que apresentam fluxo intenso e a utilização de silenciadores nos veículos para diminuir o ruído. Além disso, é possível estudar a implantação de barreiras acústicas em áreas sensíveis, como hospitais e escolas.

O ruído de tráfego rodoviário é composto de duas parcelas básicas: o ruído proveniente da força de tração unitária do veículo e da interação pneu/ pavimento (SANDBERG, 1987). A segunda parcela é considerada a mais significativa em relação ao ruído total gerado.

3.3.1 Ruído Proveniente da Força de Tração Unitária do Veículo

Esta parcela é determinada basicamente pelo nível tecnológico e pelo modo de operação dos veículos, estando a influência da rodovia relacionada com as condições gerais de tráfego e topografia, bem como com a capacidade de absorção do material de revestimento do pavimento (MURGEL, 1998).

A sua ocorrência é efetiva em duas situações. A primeira ocorre quando o veículo está em circulação, em que o ruído é produzido pelo sistema mecânico do veículo (motor, sistema de escapamento, sistema de exaustão, sistema de refrigeração, radiador, etc) (SANCHO & SENCHERMES, 1983; PRIEDE, 1975).

A segunda situação acontece quando o veículo se encontra parado, sendo as fontes atuantes o motor e o sistema de escapamentos (PRIEDE, 1975).

3.3.2 Ruído Proveniente da Interação Pneu/ Pavimento

Este ruído é gerado pela vibração do pneu e pelo movimento das partículas de ar em torno do mesmo (GOLEBIEWSKI et al., 2003), que gera uma força de atrito. Este atrito entre pneus e pavimento está diretamente relacionado com a velocidade desenvolvida, com a rugosidade do pavimento e com o tipo de pneus utilizados (MURGEL, 1998).

Segundo Harris (1998), o nível de ruído gerado pela interação pneu/ pavimento, em qualquer velocidade, é função do projeto do pneu e da quantidade de pneus do veículo. Por exemplo, um aumento de 25% na largura de um pneu equivale a um aumento no nível sonoro de 9 dB (WATERS, 1974).

O nível de ruído gerado pela interação pneu/ pavimento também é função da textura da superfície da via (revestimento) (GOLEBIEWSKI et al., 2003). Por exemplo, um pavimento com revestimento flexível asfáltico gera níveis de ruído inferiores aos gerados por revestimentos rígidos, como concreto (BECKENBAUER, 2003).

3.4 Impacto do Ruído na Saúde Humana

O ruído permeia as atividades humanas 24 horas por dia, e vem sendo apontado como uma das principais causas da deterioração da qualidade de vida, principalmente nas grandes cidades (BISTAFA, S. R., 2006). Com o aumento desordenado das grandes cidades, esse problema tende a aumentar e com isso mais pessoas serão afetadas pela exposição ao ruído e suas consequências.

O ouvido humano é um receptor mole e as suas propriedades são determinadas pela relação entre a reação do meio onde se propaga o som e a reação do ouvido ao recebê-lo. A sensibilidade da audição humana ocorre para vibrações mecânicas dentro da faixa de aproximadamente 20 a 20.000 Hz (WHO, 2002; BERGLUND et al., 1999).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) afirma que o nível médio sonoro a que as pessoas podem ser expostas sem prejudicar a qualidade de vida e a saúde é de 55 dB(A), sendo que durante o sono, o nível deve diminuir para 45 dB(A). Os efeitos dos níveis sonoros, de acordo com a OMS, estão relacionados na FIGURA 09.

100 dB(A)	• Pode haver perda de audição
80 dB(A)	• Ocorre a liberação de endorfinas, causando uma sensação de prazer momentâneo.
70 dB(A)	• Nível inicial do desgaste do organismo, aumentando o risco de infarto, derrame cerebral, infecções e outras patologias.
A partir de 55 dB(A)	• Pode haver a ocorrência de estresse leve acompanhado de desconforto.
Até 50 dB(A)	• O ruído pode perturbar, mas o organismo se adapta facilmente a ele.

FIGURA 09 - EFEITOS NEGATIVOS RELACIONADOS AO RUÍDO.
FONTE: ADAPTADO DA OMS, 2003.

Vários são os estudos que demonstram que o ruído produz alterações físico-psicológicas no ser humano, podendo dar origem a distúrbios e doenças (BABISCH et al., 2003). Provavelmente a mais conhecida consequência da exposição prolongada ao ruído seja a perda auditiva, um processo que pode ser reversível ou irreversível, dependendo da natureza da exposição (DINIZ F. B, 2003).

Os efeitos do ruído sobre o organismo humano são considerados diretos, quando percebidos pelo ouvido como principal meio de propagação da onda sonora, e indiretos quando a energia sonora desloca-se por meio de vibrações pelas partes do corpo (extra auditivos) (QUADROS, 2004).

De acordo com estudos realizados pelo Centro de Especialização em Fonoaudiologia Clínica de Goiânia (1999), frente aos efeitos diretos os ouvidos são

dotados de mecanismos protetores que alteram a sensibilidade auditiva durante e após a estimulação acústica. O primeiro mecanismo protetor é o mascaramento, quando a percepção de um som é diminuída em presença de um ruído de intensidade que encubra esse som. O segundo é a adaptação auditiva, ou seja, a sensibilidade auditiva é reduzida durante a apresentação de um estímulo sonoro intenso e duradouro. O terceiro diz respeito à fadiga auditiva, que ocorre após a cessação dos estímulos, podendo ser também chamada de mudança temporária.

Além dos efeitos diretos, o ruído exerce ação geral sobre várias funções orgânicas, apresentando reações distintas como:

- Reações de alarme, que consistem em resposta rápida de curta duração sob a ação de um ruído repentino. Essa atitude reflexa se manifesta através do ato de fechar os olhos, há aumento da frequência cardíaca e respiratória, aumento da pressão arterial e secreção salivar, dilatação pupilar, contração brusca da musculatura e aumento da secreção dos hormônios.
- Reações neurovegetativas, em que a ação geral do ruído exerce uma resposta lenta com variações durante a estimulação auditiva, influenciando e promovendo transtornos considerados como verdadeiras doenças de adaptação de instabilidade do sistema neurovegetativo; como por exemplo, o aumento do tônus muscular, hiperreflexia, redução do peristaltismo intestinal, distúrbios digestivos, angústia, inquietação, variações na dinâmica circulatória e aumento da amplitude respiratória.

Seligman (1997) relata que, em relação às manifestações extra auditivas do ruído, existem estudos na literatura científica que comprovam que o indivíduo urbano encontra-se dia-a-dia em exposição ao ruído, seja de forma direta ou indireta e, conseqüentemente, há a promoção de estresse ou perturbação do ritmo biológico, gerando transtornos, tais como:

- Transtornos da habilidade de executar atividades: em provas de habilidade foi demonstrado que com a exposição ao ruído contínuo, existe a diminuição do rendimento e eficiência, elevando o número de erros e um provável aumento de acidentes por consequência da redução da habilidade.
- Transtornos neurológicos: especialistas nesta área citam como alterações o aparecimento de tremores nas mãos, diminuição da reação aos estímulos visuais, dilatação pupilar, motilidade e tremores dos olhos, mudança na percepção visual das cores ou piora de crises de epilepsia.

- Transtornos vestibulares: durante a exposição do ruído, ou mesmo após, muitos indivíduos apresentam alterações tipicamente vestibulares, descritas como vertigens, que podem ou não ser acompanhadas de náuseas, vômitos e suores frios, desmaios e dilatação das pupilas.
- Transtornos digestivos: Seligman (1997) afirma que se pode encontrar diminuição do peristaltismo e da secreção gástrica, com aumento da acidez, seguidos de enjoos, vômitos, perda do apetite, dores epigástricas, gastrites e úlceras e alterações que resultam em diarreia ou mesmo prisões de ventre.
- Transtornos cardiovasculares: indivíduos submetidos a elevados níveis de ruído (acima de 70 dB) podem sofrer constrição dos pequenos vasos sanguíneos, reduzindo o volume de sangue e consequente alteração em seu fluxo, causando taquicardia e variações na pressão arterial.
- Transtornos hormonais: Costa (1994) relata que a produção dos “Hormônios de Estresse” é alterada quando o indivíduo é submetido à tensão em ambientes com níveis elevados de ruído, existindo um aumento dos índices de adrenalina e cortisol plasmático, com possibilidades de desencadeamento de diabetes e aumento de prolactina, com reflexo na esfera sexual.
- Transtorno do sono: Seligman (1997) considera que o ruído interfere na profundidade e qualidade do sono, surtindo efeitos desastrosos ao dia-a-dia, com visíveis alterações no trabalho e mesmo na vida social.
- Transtornos comportamentais: o ruído gera alterações neuropsíquicas, com mudanças na conduta e no humor, falta de atenção e de concentração, cansaço, insônia, falta de apetite, cefaleia, redução da potência sexual, ansiedade, depressão e estresse.

3.5 Ruído como Impacto Ambiental

Impacto Ambiental, conforme a Resolução CONAMA 01/1986, é considerado como: *“qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V – a qualidade dos recursos naturais”*.

Neste sentido, o ruído proveniente do tráfego de veículos pode ser considerado como um agente causador de impacto negativo, responsável não somente por impactos na saúde, mas também impactos de ordem sócio-econômica, como desvalorização imobiliária (LAKE et al., 1998; TAYLOR et al., 1982).

Berglund & Maschke (2000) afirmaram que a poluição sonora possui uma correlação direta com a desvalorização imobiliária. Para moradias de padrão econômico baixo e médio, a desvalorização é de 0,75% por dB no valor do imóvel, já para moradias de alto padrão essa redução pode chegar a 1% por decibel.

3.6 Propriedades do som

3.6.1 Absorção sonora

Absorção sonora é definida pela transformação da energia acústica em energia térmica. Quando uma onda sonora encontra uma superfície revestida com um material poroso, se propaga no seu interior e dissipa-se por reflexões múltiplas e atrito viscoso, transformando-se em calor (GERGES, S. N. Y., 2000). É essencial que o material admita a passagem de um fluxo de ar, o que terá como consequência a possibilidade de propagação de ondas acústicas pelo ar dos poros ou interstícios do material (GERGES S. N. Y., 2000).

Segundo Beranek (1960), a absorção sonora é classificada em um intervalo entre 0 e 1, sendo 1 absorção total da energia e 0 como ausência de absorção, de forma que toda a energia incidente é refletida.

3.6.2 Reflexão sonora

Reflexão sonora é o fenômeno que ocorre quando uma onda sonora incidente em uma superfície que separa dois meios distintos retorna a energia ou parte da energia incidente ao meio de origem (BIES & HANSEN, 2002; HASSAL & ZAVERI, 1979).

A parte da energia refletida em função da energia total incidente depende do tipo de superfície. Materiais absorventes, por exemplo, refletem pouca energia. Já materiais com grande capacidade de reflexão sonora são ditos duros, como o concreto (DINIZ F. B., 2003).

As medições de pressão sonora não devem ser feitas próximas a superfícies refletoras devido ao acréscimo da energia sonora nesses locais.

3.6.3 Difração sonora

Difração sonora é definida como a capacidade da onda sonora contornar certos obstáculos (HARRIS, 1998; KINSLER et al. 1982). Isso ocorre quando o comprimento da onda sonora em relação aos corpos presentes no meio da propagação é relativamente pequeno.

As baixas frequências apresentam uma difração maior do que as altas e quando o obstáculo não é muito grande quando comparado com o comprimento de onda, tem-se o fenômeno de espalhamento. Quando o objeto é muito grande tem-se a sombra acústica (NEPOMUCENO, 1968; BERANEK, 1960).

3.6.4 Propagação sonora

Propagação é a transmissão de energia gerada pelo movimento contínuo de partículas (vibrações) que compõem um meio considerado ilimitado. Se a energia que está sendo transmitida for acústica, a onda de propagação gerada é chamada onda sonora, a qual dá origem a um som ou ruído, de menor ou maior intensidade (HARRIS, 1998; BIES & HANSEN 2002; HASSAL & ZAVERI 1979).

A forma das frentes de onda que se propagam em um meio material depende da relação entre a frequência emitida e as dimensões do elemento do meio em que gerou a onda (fonte sonora). Neste sentido, as ondas podem ser classificadas como de simetria esférica, plana ou cilíndrica (BIES & HANSEN, 2002).

3.6.5 Velocidade do som

Dependendo do meio onde o som está se propagando, o tempo necessário para a energia ser transferida de uma partícula para a sua vizinha varia (DINIZ F.B., 2003). A causa direta desse fato é a mudança da velocidade do som de acordo com o meio. A equação da velocidade do som em um meio é a seguinte:

$$c = \sqrt{\frac{\chi RT}{M}}$$

Onde,

c = Velocidade do som (m/s)

χ = Constante que depende do gás (1,4 para o ar)

R = Constante universal dos gases (8,31 J / K mol)

T = Temperatura absoluta do gás (K)

M = Peso molecular do gás (2,87 10⁻² Kg / mol para o ar)

O ar é considerado como meio de propagação para a maioria das aplicações em acústica, sendo utilizado no presente trabalho. Utilizando os valores aplicáveis mostrados acima, obtemos a velocidade de propagação do som no ar com o valor de $c = 344\text{m/s}$ a 20°C .

3.6.6 Frequência do som

Frequência é o número de repetições de um evento por unidade de tempo. A frequência sonora é o número de ocorrência de uma onda sonora, a partir de uma vibração, em um segundo (HARRIS, 1998). A unidade mais utilizada para frequência sonora é o Hertz (Hz).

A frequência é usualmente chamada de inverso do período, portanto definida como:

$$f = \frac{1}{T}$$

Onde,

f = Frequência (Hz)

T = Período (s)

Segundo BISTAFÁ (2006), o ouvido humano consegue detectar os sons na faixa de frequência de 20 Hz a 20 kHz. Sons com frequência abaixo de 20 Hz chamam-se infrassons e sons com frequência acima de 20 kHz são os ultrassons.

3.6.7 Fonte sonora

A fonte sonora é um corpo, objeto ou sistema de onde se origina o som (HASSAL & ZAVERI, 1979). Os tipos de fonte mais usuais seriam:

- 1) Pontuais: quando apresentam dimensões bastante inferiores em relação à distância até o receptor;
- 2) Fonte em linha: quando é considerada composta por um grande número de fontes pontuais dispostas sequencialmente, formando uma irradiação contínua;
- 3) Fonte em área: quando uma fonte ou um conjunto de fontes apresenta-se disposta em uma área de perímetro fechado, e suas dimensões são consideráveis ou perceptíveis em relação à distância até o receptor.

3.6.8 Potência sonora (W)

A potência sonora é definida como a quantidade de energia irradiada em uma unidade de tempo por uma fonte sonora, expressa em Watts (W). O valor da potência sonora não depende de fatores externos à fonte de interesse.

Tecnicamente pode-se resolver a potência sonora através da integração da intensidade sonora, sobre uma superfície de medição, a qual envolve completamente a fonte sonora. Assim tem-se (HARRIS, 1998):

$$W = \sum_{i=1}^n I_{n(i)} S_i$$

Onde,

W = Potência sonora (W)

$I_{n(i)}$ = Intensidade sonora normal (W/m^2)

S_i = elemento de área (m^2)

3.6.9 Intensidade sonora (I)

O som se propaga em todas as direções a partir da fonte, sendo assim, a energia dividida em uma área cada vez maior. Essa divisão da energia fará com que a intensidade do som caia com sua propagação. Dessa forma, a intensidade sonora (I) pode ser definida como a potência sonora da fonte dividida pela área perpendicular à propagação sonora (BISTAFA, S. R. 2006).

A unidade mais utilizada para a intensidade sonora é o watt por metro ao quadrado (W/m^2). A intensidade sonora pode ainda ser expressa em função da potência sonora (ISO, 1994), para uma fonte omnidirecional, como:

$$I = \frac{W}{S}$$

Onde,

I = Intensidade sonora (W/m^2)

W = Potência sonora (W)

S = Área (m^2)

3.6.10 Pressão sonora

O movimento das partículas em um meio elástico, em torno do seu ponto de equilíbrio, provoca a geração de variações de pressão. Sendo essa variação função da propagação do som, esta recebe a denominação de pressão sonora. (GERGES,

S. N. Y. 2000). A unidade usual para a pressão sonora é o Pascal (Pa) ou Newton por metro quadrado (N/m^2).

O valor de referência para pressão sonora é de aproximadamente $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ (vinte micro Pascal) (KINSLER et al., 1982), a partir do qual o ouvido humano apresenta sensação auditiva, ou seja, o limiar de audibilidade.

Podemos determinar um valor único representativo denominado de pressão sonora efetiva, expressa por (BIES & HANSEN, 2002; BERANEK & VÉR, 1992):

$$p_{ef}^2 = \frac{1}{t} \int_0^t p_{(T)}^2 dt$$

Onde,

p_{ef}^2 = Pressão sonora efetiva (N/m^2)

t = Tempo de medição (s)

$p_{(T)}$ = Pressão sonora instantânea (N/m^2)

3.7 Medição do ruído

3.7.1 Nível de Pressão Sonora

Segundo GERGES (2000) e SHULTZ (1972), o Nível de Pressão Sonora (NPS), correspondente à pressão de referência, em decibel, é dez vezes o logaritmo de base dez da razão entre o quadrado da pressão sonora efetiva pela pressão sonora de referência. O menor valor da pressão sonora mínima para audibilidade é de aproximadamente $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$, ou 20 μPa (vinte micro Pascal). No outro limite, temos que o limiar da dor ocorre a uma pressão sonora de aproximadamente 200 N/m^2 , ou 200×10^6 micro Pascal) (GERGES, S. N. Y., 2000; SCHULTZ T. J., 1972; ROSSING et al., 1990).

Para exprimir os valores das pressões sonoras na faixa da audibilidade humana de forma linear, como por exemplo, em N/m^2 , seria necessária uma escala ponderável, inviabilizando a utilização da escala linear.

Devido a grande variação sofrida pela pressão sonora, intensidade, potência, entre outros, foi utilizado a escala logarítmica. Como a escala em logaritmo exige uma base de referência, adotou-se o limiar da audição humana, 1 Bel, para essa base (BISTAFA S. R., 2006).

O Bel (em homenagem a Alexander Graham Bell) é a unidade de nível que indica a faixa entre duas quantidades proporcionais. Tem-se então a seguinte relação (HARRIS, 1998):

$$1 \text{ Bel} = 10 \text{ decibéis}$$

$$1 \text{ decibel} = 0,1 \text{ Bel}$$

Então, 1 decibel é a décima parte de 1 Bel, ou seja, 0,1 Bel, denominado como Logaritmo de Briggs ou decimal da relação entre duas grandezas quadráticas (NEPOMUCENO, 1968).

A expressão matemática geral que define o nível de uma potência qualquer, em Bel, é a seguinte (ROSSING et al., 1990, SCHULTZ T. J., 1972):

$$N = \log \frac{W_1}{W_0}$$

Onde:

N = Nível de potência (B)

W_1 = Valor da potência a ser comparada (W)

W_0 = Valor de referência da potência (W)

Como a potência sonora é proporcional ao quadrado da pressão sonora, é possível então, a utilização da escala Bel para medição dos níveis de pressão sonora, como sendo o logaritmo da relação existente entre um determinado valor de pressão sonora e a pressão sonora mínima de referência. Assim:

$$NPS = \log \frac{p_1^2}{p_0^2}$$

Onde,

NPS = Nível de pressão sonora em Bel (B)

p_1 = valor da pressão sonora a ser comparada (N/m²)

p_0 = valor de referência da pressão sonora (N/m²)

Para níveis de pressões sonoras, foi definido o uso de um submúltiplo do Bel, o decibel (db), devido a faixa dos valores de pressões sonoras estudadas em acústica. Assim, a expressão que define um nível de pressão sonora em decibel é (GERGES, S. N.Y., 2000; SCHULTZ T. J., 1972):

$$NPS = 10 \log \frac{p_1^2}{p_0^2}$$

Onde,

NPS = Nível de pressão sonora em decibel (dB)

p_1 = valor da pressão sonora medida (N/m²)

p_0 = valor de referência da pressão sonora igual a $2 \cdot 10^{-5}$ N/m²

Sendo a pressão efetiva a pressão representativa da ocorrência de várias pressões no período de medição, é comum em algumas literaturas encontrar a sua denominação como pressão global, conseqüentemente, tem-se o nível global de pressão sonora. Logo:

$$\frac{NPS}{10} = \log \frac{p_1^2}{p_0^2}$$

Portanto, com algumas manipulações algébricas, obtemos:

$$p_1^2 = 10^{\frac{NPS}{10}} \cdot p_0^2$$

Onde,

p = pressão sonora devida a uma fonte para uma determinada medição (N/m²)

NPS = nível de pressão sonora (dB)

p_0 = pressão sonora de referência = 2×10^{-5} N/m²

Quando se tem diversas fontes sonoras, a pressão sonora devido às fontes será:

$$\text{Fonte 1: } p_{(1)}^2 = 10^{\frac{NPS_{(1)}}{10}} \cdot p_0^2$$

$$\text{Fonte 2: } p_{(2)}^2 = 10^{\frac{NPS_{(2)}}{10}} \cdot p_0^2$$

$$\text{Fonte 3: } p_{(3)}^2 = 10^{\frac{NPS_{(3)}}{10}} \cdot p_0^2$$

(...)

$$\text{Fonte n: } p_{(n)}^2 = 10^{\frac{NPS_{(n)}}{10}} \cdot p_0^2$$

Assim, temos:

$$p_{(global)}^2 = p_0^2 \left[10^{\frac{NPS_{(1)}}{10}} + 10^{\frac{NPS_{(2)}}{10}} + 10^{\frac{NPS_{(3)}}{10}} + \dots + 10^{\frac{NPS_{(n)}}{10}} \right]$$

Logo:

$$NPS_{(global)} = 10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{p_i^2}{p_0^2} \right]$$

Onde,

$NPS_{(global)}$ = Nível global de pressão sonora (dB)

p_i = Pressão sonora medida (N/m²)

p_0 = Pressão sonora de referência = 2×10^{-5} N/m²

3.7.2 Adição de níveis sonoros

Como demonstrando anteriormente, níveis sonoros são dados em escala logarítmica, portanto não é correto somar ou subtrair dois níveis sonoros de forma aritmética, simplesmente somando os seus valores numéricos (BIES & HANSEN, 2002).

Para simplificar o cálculo de soma de níveis de pressões sonoras de duas fontes, utiliza-se o gráfico apresentado na FIGURA 10 (GERGES, S. N.Y., 2000). No eixo das abcissas tem-se a diferença entre os dois níveis sonoros que serão somados, levando esse valor à curva tem-se um valor em dB no eixo das ordenadas que deve ser adicionado ao maior dos dois níveis. No caso de soma de dois níveis iguais, sendo a diferença entre os dois igual a zero dB, o nível resultante será um acréscimo de 3 dB ao nível sonoro inicial. Por exemplo, se tivermos duas fontes sonoras gerando níveis de pressões sonoras de 70 dB cada uma, resultarão num nível total de 73 dB.

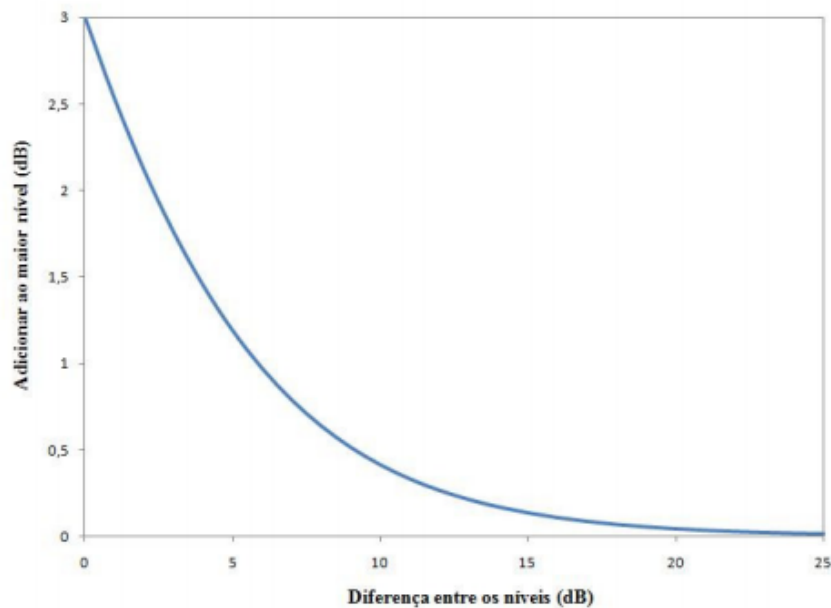


FIGURA 10 - GRÁFICO PARA A SOMA DE NÍVEIS SONOROS.
 FONTE: GERGES, S. N.Y., 2000.

Com o exposto acima, pode-se fazer as seguintes considerações (BIES & HANSEN, 2002; HARRIS, 1998; BERANEK, 1960):

- A soma de dois níveis sonoros iguais será o valor de um dos níveis acrescido de 3 dB;
- Um acréscimo de 3 dB em um campo acústico equivalerá a um aumento de 50% das fontes existentes;
- O valor de 0 dB para uma fonte sonora não implica necessariamente em ausência de som;
- $0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$

3.7.3 Subtração de níveis sonoros

A subtração de dois níveis de pressões sonoras segue a mesma linha da adição (GERGES, S. N.Y., 2000). Primeiramente é feito o cálculo da diferença entre os níveis sonoros e este valor é levado ao eixo das abcissas. Através da curva, pode-se encontrar no eixo das ordenadas o valor que deverá ser subtraído.

3.7.4 Interferência da distância

A amplitude da pressão sonora sofre redução à medida que a distância da fonte ao receptor é aumentada, devido à existência de perdas na transmissão do som num meio elástico qualquer. Além disso, se a frente de onda é uma superfície

em expansão, a energia se conservando, a intensidade minora com o aumento da área.

Um nível de ruído medido será sempre um valor vinculado à distância entre a fonte e o medidor de nível de pressão sonora, e qualquer variação de uma distância predeterminada, implicará em erros de medição (CALIXTO, 2002).

3.7.5 Nível Equivalente

O nível sonoro não é o único potencial de danos à audição, mas também o tempo de exposição ao qual uma pessoa está sujeita. Como os níveis sonoros variam em função do tempo, calcula-se o nível equivalente de pressão sonora.

O nível de pressão sonora equivalente é um nível constante médio que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído durante o período de medição, expresso em decibel (dB) e dado por (SCHULTZ T. J, 1972):

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

Onde,

L_{eq} = Nível de pressão sonora equivalente (dB)

$t = (t_2 - t_1)$ = Tempo total de duração (s)

$p(t)$ = Pressão sonora instantânea (N/m²)

p_0 = pressão sonora de referência = 2×10^{-5} N/m²

Ainda, Segundo GERGES (2000), o grau de prejuízo que certo ruído pode provocar à audição depende tanto de sua intensidade como também da sua duração. Sendo assim, um nível equivalente (L_{eq}) pode resultar no mesmo grau de lesão auditiva que um nível variável considerado no mesmo intervalo de tempo, até um limite de aproximadamente 115 dB(A) (cento e quinze decibéis na curva de ponderação A), a partir do qual uma exposição de curta duração pode causar uma lesão.

3.8 Aspectos normativos

Uma excelente maneira de se combater a poluição sonora é através de leis, normas, e em especial do desenvolvimento da consciência dos envolvidos – população, governo, políticos, juristas, trabalhadores – na solução do problema (BUNN et al., 2010).

A maior dificuldade é que a própria população afetada tem dificuldade na avaliação deste poluente, por desconhecimento sobre o assunto e por sua passividade frente à poluição sonora, dizendo-se “acostumada ao barulho” (BUNN, et al., 2010).

Segundo Bunn et al. (2010), muitas cidades brasileiras possuem leis que regulamentam o ruído, tais como: Curitiba com a lei 10.625/02, a cidade de São Paulo com a Lei 11.986/96, a cidade de Fortaleza com a lei municipal 5530/81, entre outras. Deve-se destacar que quando um município ou estado não possui norma ou lei própria para regulamentar o ruído ambiental, utiliza-se então a NBR 10.151 “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”, a qual é empregada também como parâmetro em resoluções CONAMA.

3.8.1 NBR 10.151/2000

A norma NBR 10.151 – “Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento” foi elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em junho de 2000. Ela tem como objetivo fixar as condições para avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades, independente de reclamações. Além disso, essa norma também especifica um método para medição de ruído, a aplicação de correções nos níveis medidos e uma comparação dos níveis corrigidos com critérios determinados por fatores específicos.

A norma também especifica algumas definições tais como: nível de pressão sonora equivalente, ruído com caráter impulsivo, ruído com componentes tonais, nível de ruído ambiental, equipamentos de medição, classificação dos equipamentos e calibração e os procedimentos de medição.

No que se refere ao procedimento de medição, a NBR regulamenta que as medições não devem ser realizadas na existência de interferências audíveis advindas de fenômenos da natureza, como trovões, chuvas fortes, etc. Além disso, é recomendado que o tempo de medição escolhido permita a caracterização do ruído, porém a norma não estabelece um tempo correto.

A norma estabelece que as medições devem ser realizadas a aproximadamente 1,2 metros do piso e pelo menos 2 metros de distância de superfícies refletoras, como muros e paredes.

A NBR determina os níveis de decibel para ambientes externo, através da determinação do nível de critério de avaliação – NCA (Tabela 01). Para ambientes

internos, os valores da Tabela 01 devem ser corrigidos em -10 dB para janela aberta e -15 dB para janela fechada.

TABELA 01 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM DB.

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

FONTE: NBR 10.151/2000.

Os limites de horário para o período diurno e noturno da podem ser definidos pelas autoridades de acordo com os hábitos da população. Porém, o período noturno não deve começar depois das 22 horas e não deve terminar antes das 7 horas do dia seguinte. Se o dia seguinte for domingo ou feriado o término do período noturno não deve ser antes das 9 horas.

3.8.2 NBR 10.152/1987

A NBR 10.152 – “Níveis de ruído para conforto acústico” foi elaborada pela ABNT em dezembro de 1987. Esta norma fixa os níveis de ruído compatíveis com o conforto acústico em ambientes diversos, sendo este seu objetivo principal.

A norma traz algumas definições, tais como pressão sonora e nível de pressão sonora. Além disso, traz um método de avaliação de ruído denominado Curva de Avaliação de Ruído (NC) (FIGURA 11). Esse método relaciona a frequência em que ocorreu a medição e o nível de pressão sonora para determinado local, sendo que cada curva representa o limite de ruído para uma da atividade, tendo em vista o conforto acústico em função da comunicação humana.

Os valores em dB indicados para cada tipo de local e sua respectiva NC correspondente podem ser vistos na Tabela 02. Níveis sonoros acima dos estabelecidos nesta Tabela são considerados de desconforto acústico.

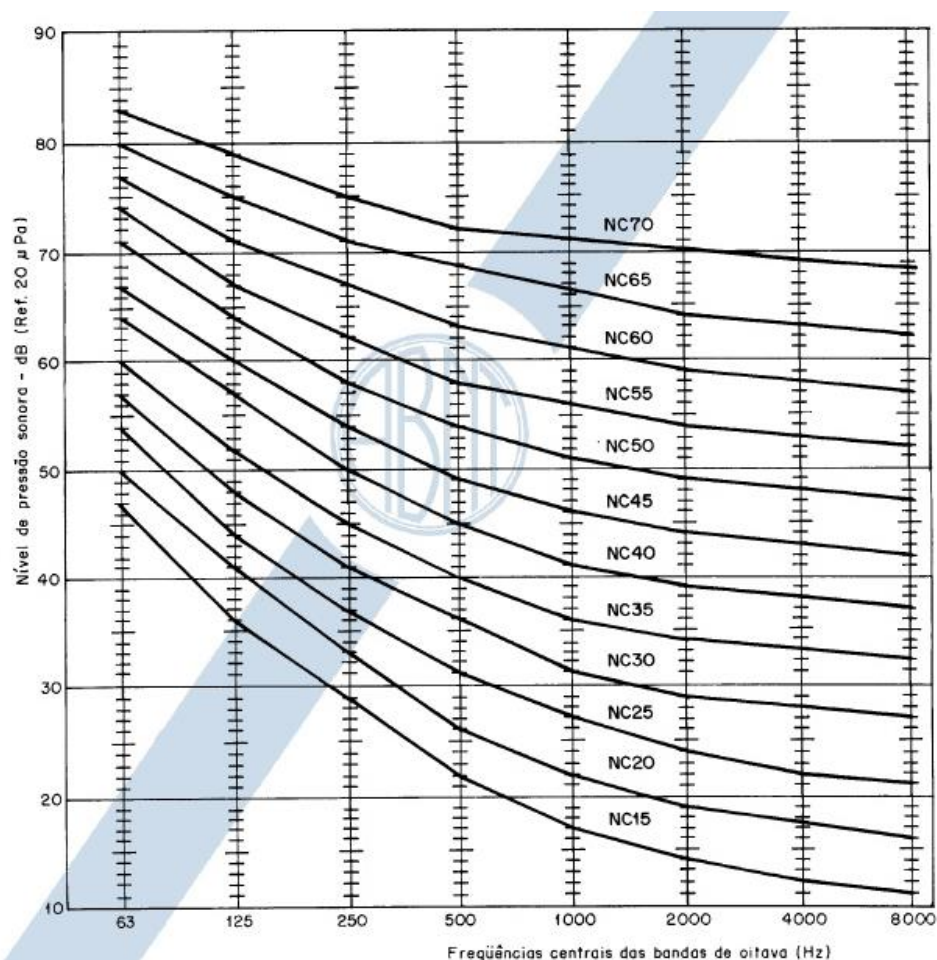


FIGURA 11 - CURVAS DE AVALIAÇÃO DE RUÍDO (NC).
 FONTE: MANUAL ASHRAE VOLUME SISTEMAS CAPÍTULO 35 – 1980.

TABELA 02 - VALORES DE DB E CORRESPONDENTE NC.

Locais		dB(A)	NC
Hospitais	Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos.	35 – 45	30 – 40
	Laboratórios, Áreas para uso do público.	40 – 50	35 – 45
	Serviços.	45 – 55	40 – 50
Escolas	Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho.	35 – 45	30 – 40
	Salas de aula, Laboratórios.	40 – 50	35 – 45
	Circulação.	45 – 55	40 – 50
Hotéis	Apartamentos.	35 – 45	30 – 40
	Restaurantes, Salas de estar.	40 – 50	35 – 45
	Portaria, Recepção, Circulação.	45 – 55	40 – 50
Residências	Dormitórios.	35 – 45	30 – 40
	Salas de estar.	40 – 50	35 – 45
Auditórios	Salas de concertos, Teatros.	30 – 40	25 – 30
	Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo.	35 – 45	30 – 35
Restaurantes		40 – 50	35 – 45

Escritórios	Salas de reunião.	30 – 40	25 – 30
	Salas de gerência, Salas de projetos e de administração.	35 – 45	30 – 40
	Salas de computadores.	45 – 65	40 – 60
	Salas de mecanografia.	50 – 60	45 – 55
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)		40 – 50	35 – 45
Locais para esporte	Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 – 60	40 – 55

FONTE: NBR 10.152/ 1987.

3.8.3 Lei Municipal 9.800/2000 – Prefeitura de Curitiba

A Lei nº 9.800/2000 da Prefeitura Municipal de Curitiba dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no município. O conhecimento acerca do zoneamento urbano é importante, já que a Lei Municipal 10.625 estabelece níveis de pressão sonora máximos de acordo com as zonas de uso, como será estudado a seguir.

De acordo com o Art. 2º da Lei 9.800, zoneamento é a divisão do território do Município visando dar a cada região melhor utilização em função do sistema viário, da topografia e da infraestrutura existente, através da criação de zonas e setores de uso e ocupação do solo e adensamentos diferenciados. As zonas e setores serão delimitados por vias, logradouros públicos, acidentes topográficos e divisas de lote. Essa divisão estabelece critérios e parâmetros de uso e ocupação do solo, com o objetivo de orientar e ordenar o crescimento da cidade.

O Art. 5º mostra a divisão do Município de Curitiba, conforme Anexo 01, que faz parte nas seguintes zonas e setores de uso:

- I - Zona Central – ZC;
- II - Zonas Residenciais – ZR;
- III - Zonas de Serviços – ZS;
- IV - Zonas de Transição – ZT;
- V - Zonas Industriais – ZI;
- VI - Zonas de Uso Misto – ZUM;
- VII - Zonas Especiais – ZE;
- VIII - Zona de Contenção – Z-CON;
- IX - Áreas de Proteção Ambiental – APA;
- X - Setores Especiais – SE.

APA-SS Vias prioritárias 1 e 2 Vias setoriais Vias coletoras 1, 2 e 3			
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, APA-SUE	70	60	60
Os casos não contemplados nesta tabela serão objetos de análise específica por parte da Secretaria Municipal do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Curitiba.			

FONTE: LEI 10.625/2002, PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA.

Legenda de siglas:

APA-SARU - Setor de Alta Restrição de Uso
 APA-SMRU - Setor de Média Restrição de Uso
 APA-ST - Setor de Transição
 APA-SUE - Setor de Uso Esportivo
 APA-SS - Setor de Serviço
 CONEC - Setor Especial Conector - Conectora 1, 2, 3, 4
 SC-SF - Setor Especial Comercial Santa Felicidade
 SC-UM - Setor Especial Comercial Umbará
 SE - Setor Especial Estrutural
 SE-AC - Setor Especial da Av. Affonso Camargo
 SE-BR-116 - Setor Especial da BR-116
 SE-CB - Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros
 SE-CC - Setor Especial Centro Cívico
 SE-CF - Setor Especial da Av. Comendador Franco
 SEHIS - Setor Especial Habitação de Interesse Social
 SEI - Setor Especial Institucional
 SE-LE - Setor Especial Linhão do Emprego
 SE-MF - Setor Especial da Av. Mal. Floriano Peixoto
 SE-NC - Setor Especial Nova Curitiba
 SE-OI - Setor Especial de Ocupação Integrada
 SE-PE - Setor Especial Preferencial de Pedestres
 SE-PS - Setor Especial do Pólo de Software
 SEVC-PASSAÚNA - Setor Especial de Vias Coletoras
 SEVS-PASSAÚNA - Setor Especial de Vias Setoriais
 SE-WB - Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz

SH - Setor Histórico
ZC - Zona Central
ZOO - Zona de Ocupação Orientada
ZE-D - Zona Especial Desportiva
ZE-E - Zona Especial Educacional
ZEI-I (CIC) - Zona Especial de Indústria
ZE-M - Zona Especial Militar
ZES - Zona Especial de Serviços
ZI - Zona Industrial
ZR-1 - Zona Residencial 1
ZR-2 - Zona Residencial 2
ZR-3 - Zona Residencial 3
ZR-4 - Zona Residencial 4
ZR-AV - Zona Residencial Alto da Glória
ZR-B - Zona Residencial Batel
ZR-M - Zona Residencial Mercês
ZR-OC - Zona Residencial de Ocupação Controlada
ZUC-II - Zona de Urbanização Consolidada
ZR-SF - Zona Residencial Santa Felicidade
ZR-U - Zona Residencial Umbará
ZS-1 - Zona de Serviço 1
ZS-2 - Zona de Serviço 2
ZT-BR-116 - Zona de Transição BR - 116
ZT-MF - Zona de Transição Av. Mal. Floriano Peixoto
ZT-NC - Zona de Transição Nova Curitiba
Z-UM - Zona de Uso Misto

Para efeitos dessa Lei, é importante que as medições sejam efetuadas de acordo com as Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT, explicadas anteriormente. Nota-se que na lei 10.625/02 os valores seguidos como limites máximos, têm como referência a NBR 10.151/00, podendo ainda, em alguns casos, ser mais rigorosa.

3.8.5 Resoluções CONAMA

Os problemas relativos aos níveis excessivos de ruídos estão incluídos entre os sujeitos ao controle da poluição ambiental, cuja normatização e estabelecimento de padrões compatíveis com o meio ambiente equilibrado e necessário à sadia qualidade de vida, é atribuída ao CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), de acordo com que dispõe o inciso II do artigo 6º da Lei 6.938/81 – Política Nacional do Meio Ambiente.

A tutela jurídica do meio ambiente e da saúde humana é regulada pela Resolução do CONAMA 001, de 08 de março de 1990, que considera um problema os níveis excessivos de ruídos bem como a deterioração da qualidade de vida causada pela poluição. Essa resolução Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.

Alguns itens importantes da Resolução 001/90 do CONAMA dispõem:

I - A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta Resolução.

II - São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR-10.15179 – Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

IV - A emissão de ruídos produzidos por veículos automotores e os produzidos no interior dos ambientes de trabalho obedecerão às normas expedidas, respectivamente, pelo Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN e pelo órgão competente do Ministério do Trabalho.

VI - Para os efeitos desta Resolução, as medições deverão ser efetuadas de acordo com a NBR-10.151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da ABNT.

Considerando que o crescimento demográfico descontrolado nos centros urbanos acarreta uma concentração de diversos tipos de fontes de poluição sonora, sendo fundamental o estabelecimento de normas, métodos e ações para controlar o ruído excessivo que possa interferir na saúde e bem-estar da população, o CONAMA estabeleceu a Resolução 002, de 08 de março de 1990, que veio a

instituir o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – Silêncio (12), com o seguinte objetivo:

a) Promover cursos técnicos para capacitar pessoal e controlar os problemas de poluição sonora nos órgãos de meio ambiente estaduais e municipais em todo o país;

b) Divulgar junto à população, através dos meios de comunicação disponíveis, matéria educativa e conscientizadora dos efeitos prejudiciais causados pelo excesso de ruído.

c) Introduzir o tema "poluição sonora" nos cursos secundários da rede oficial e privada de ensino, através de um Programa de Educação Nacional;

d) Incentivar a fabricação e uso de máquinas, motores, equipamentos e dispositivos com menor intensidade de ruído quando de sua utilização na indústria, veículos em geral, construção civil, utilidades domésticas, etc.

e) Incentivar a capacitação de recursos humanos e apoio técnico e logístico dentro da política civil e militar para receber denúncias e tomar providências de combate para receber denúncias e tomar providências de combate à poluição sonora urbana em todo o Território Nacional;

f) Estabelecer convênios, contratos e atividades afins com órgãos e entidades que, direta ou indiretamente, possa contribuir para o desenvolvimento do Programa SILÊNCIO.

Além destas resoluções, tem-se ainda a Resolução 001/93, a qual dispõe sobre os limites máximos de ruídos, com o veículo em aceleração e na condição parado, para veículos automotores nacionais e importados, excetuando-se motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores e bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados.

3.9 Medidas de mitigação

Existem várias medidas de caráter preventivo, corretivo e preditivo que podem ser utilizadas no controle da emissão de ruídos, sendo a sua escolha função da eficiência, do fator econômico e da aceitação da população (HOBBS, 1998; STOILOVA & STOILOV, 1998).

Segundo Murgel (1998), as medidas de controle de ruído de tráfego podem ocorrer de duas formas: 1) redução da fonte de ruído, através do controle da

emissão sonora veicular, uso de pavimentos com baixa rugosidade e controle da velocidade de tráfego; 2) limitação da transmissão sonora, por meios naturais, utilizando as condições topográficas e vegetação existente, e por meios artificiais, como o uso de barreiras acústicas.

Manning & Harris (2003) sugeriram que a execução de barreiras acústicas, com materiais absorventes, é a medida de controle de melhor desempenho para grandes corredores viários.

As barreiras acústicas são dispositivos de controle de ruídos que têm por objetivo o isolamento adequado do ruído proveniente do meio exterior. A instalação de barreiras acústicas possui a finalidade de impedir a livre propagação do som, levando a um decaimento bem mais intenso do que ocorreria em condições naturais. Ao se deparar com um obstáculo, as ondas sonoras têm parte da sua energia refletida, parte transmitida e parte difratada (KOTZEN & ENGLISH, 1999).

O grau de redução sonora de uma barreira vai depender de inúmeros fatores de localização, geometria e materiais utilizados (SAMUEL & ANCICH, 2002).

Fatores ambientais, tais como o vento, a temperatura, o tipo do solo e a absorção do ar, podem influenciar no desempenho da barreira acústica. O vento provoca uma distorção da frente de onda, devido à velocidade e direção, isto é, as ondas sonoras que estão na mesma direção do vento são refratadas em direção ao solo, porém o sinal sonoro recebido não é afetado; e as ondas sonoras que estão em sentido contrário do vento são refratadas para longe do solo, provocando o surgimento de sombras acústicas e o sinal sonoro é reduzido (KOTZEN & ENGLISH, 1999).

O gradiente de temperatura causa deformação na frente de onda, por causar uma diminuição na velocidade do ar. As ondas sonoras sofrem a refração, com desvios para cima do solo e, portanto, surgem as zonas de sombra (KOTZEN & ENGLISH, 1999).

O tipo de solo que está sob e nas proximidades da barreira acústica também provoca alteração no sinal sonoro que chega ao receptor. Superfícies rígidas, como concreto, não tem propriedades de absorção. Um solo coberto de grama, por exemplo, absorve mais do que um solo coberto com cimento (KOTZEN & ENGLISH, 1999; WATTS & MORGAN, 1996).

A absorção do som pelo ar é causada pela dissipação de energia no processo de relaxamento vibracional das moléculas de oxigênio e nitrogênio e também pela

combinação dos efeitos de viscosidade e condução de calor (NEPOMUCENO, 1968).

As barreiras acústicas, no entanto, introduzem na paisagem urbana um outro fator ambiental que é a poluição visual. Em vias urbanas, dada a proximidade com residências e estabelecimentos comerciais e o grande fluxo de pedestres, é recomendável que as barreiras acústicas sejam construídas com material transparente, que são visualmente bem menos agressivas que aquelas feitas com material opaco (KOTZEN & ENGLISH, 1999).

Segundo Pharoah & Russel (1989), as mudanças no ruído proveniente do tráfego são resultantes de cinco aspectos: mudança no volume e na composição do tráfego, mudanças no revestimento da via, mudanças no desenho da via, mudanças na velocidade e mudanças no estilo de dirigir.

Em um estudo preliminar de impacto ambiental, referente à implantação de um eixo de integração de transportes, algumas medidas mitigadoras que poderiam ser implantadas seriam: instalação de redutores de velocidade, instalação de radares, aquisição pelo poder público de veículos para o transporte coletivo com baixos valores de emissão de potência sonora, controle de qualidade da pista de rodagem, manutenção da pista, controle de qualidade da frota de veículos e construção de barreiras acústicas (ZANNIN et al., 2003).

Hede (1998) acredita que o desenvolvimento de políticas públicas em relação ao ruído seria o principal instrumento de controle da poluição sonora em grades centros urbanos.

Para Sandberg (1987), a intervenção no pavimento seria a medida ideal para a redução de níveis sonoros excessivos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local da avaliação

O estudo refere-se à Avenida do Batel, uma das principais vias públicas da cidade de Curitiba, localizada no bairro Batel e às suas extensões, sendo elas a Rua Doutor Pedrosa, a Rua Benjamin Lins e a Rua Bispo Dom José (FIGURA 13).

A área de estudo possui uma extensão de aproximadamente 2.700 metros, em que foram realizadas medições com monitoramento subdividido em 11 pontos, distanciados entre si em aproximadamente 200 metros, distância considerada suficiente para abranger as entradas e saídas de veículos que poderiam alterar significativamente o fluxo e, conseqüentemente, os níveis de pressão sonora.

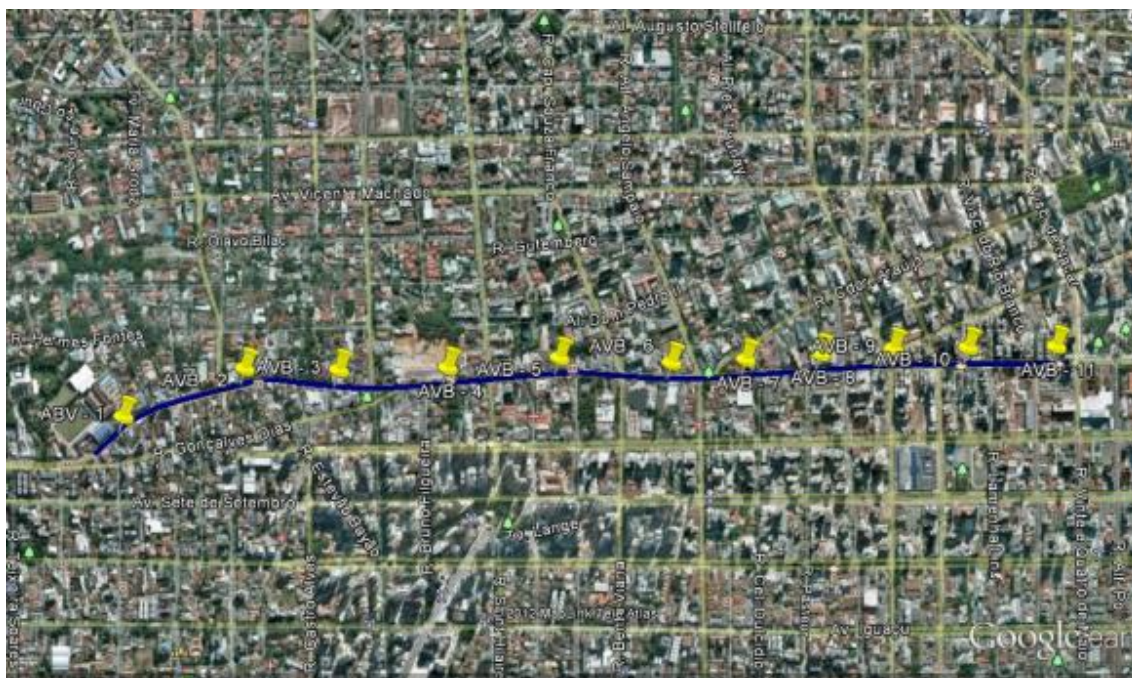


FIGURA 13 – PONTOS DE MEDIÇÃO.
FONTE: GOOGLE, 2014.

A Avenida do Batel pode ser classificada como uma via retilínea e plana, pois ao longo da via não existem variações bruscas de declividade. O pavimento foi avaliado como estando em boas condições, com poucos defeitos.

4.2 Equipamentos e procedimentos de medição

Para a avaliação dos níveis de pressão sonora na região foi utilizado um medidor sonoro da marca Brüel & Kjaer, modelo BK-2250 (FIGURA 14), abalizado para processar internamente o cálculo automático dos níveis sonoros equivalentes e estatísticos em cada ponto.



FIGURA 14 - MEDIDOR SONORO BRÜEL & KJAER, MODELO BK-2250.
FONTE: BRÜEL & KJAER, 2014.

Além disso, foram utilizados também os seguintes instrumentos, todos de propriedade do Laboratório de Acústica Ambiental e Industrial e Conforto Acústico (LAAICA) da Universidade Federal do Paraná: Software B&K Noise Explorer 7815; um calibrador B&K 4231; Software B&K *Predictor* 7810 versão 8.11 para o mapeamento acústico. Foram medidos o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) e os níveis sonoros máximos ($L_{máx}$) e mínimos ($L_{mín}$).

As medições ocorreram no mês de julho, seguindo as recomendações da norma brasileira NBR 10.151/00. Todas as medições foram realizadas no período diurno (manhã e tarde), evitando os horários de pico em que ocorre congestionamento de veículos.

Cada medição teve duração mínima de 10 minutos e foram realizadas no modo de resposta fast e na curva de ponderação A, de forma a medir o ruído contínuo. Todas as medições foram realizadas em boas condições meteorológicas (sem chuva e vento forte), no período diurno e em diferentes dias da semana.

Simultaneamente às medições, foi realizada também a contagem de veículos, separados em veículos leves, motos e veículos pesados, de acordo com especificações do programa computacional *Predictor*. Esse valor foi incrementado em 3,5% ao ano, correspondente ao índice médio de aumento de veículos na cidade de Curitiba levantado pelo Detran-PR. Esse incremento foi realizado para 5 e 10 anos e então inserido no programa computacional para elaboração dos mapas referentes aos anos de 2019 e 2024, respectivamente.

4.3 Mapeamento acústico

A utilização do mapeamento acústico permite, além de uma melhor visualização do problema ocasionado pela poluição sonora, propor diferentes possíveis cenários, demonstrando o que pode ser feito para melhoria do problema.

A elaboração dos mapas de ruído foi realizada através do software *Predictor 7810* versão 8.11. O *Predictor 7810* é um software em ambiente MS-Windows®, especialmente desenvolvido para a previsão de níveis de ruído e respectivo mapeamento. Permitindo o cálculo e a apresentação da situação acústica atual de uma determinada área geográfica, bem como o resultado a esperar com a introdução de hipotéticas medidas de controle de ruído, a simulação computacional apresenta-se como a solução adequada para quem tem de prever e controlar emissões de ruído.

O mapeamento acústico tem o intuito de demonstrar uma visão global do ruído na região avaliada, sendo analisado através de uma tabela de cores onde cada nível sonoro está representado por uma cor diferente, como observado na FIGURA 15.

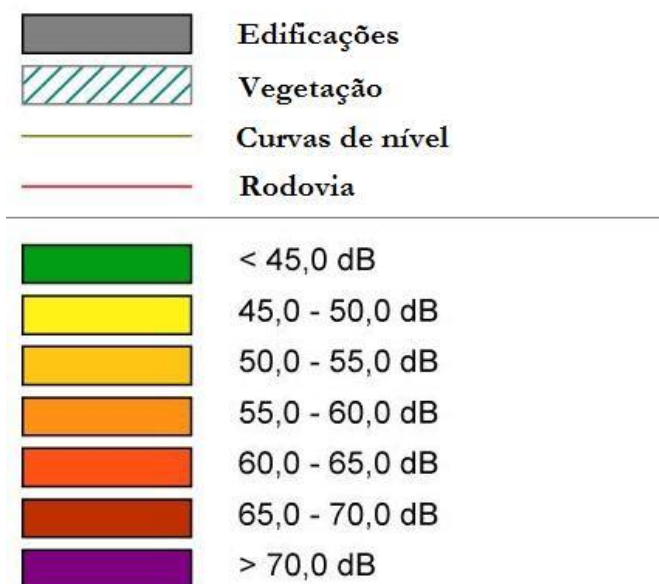


FIGURA 15 - LEGENDA UTILIZADA NO MAPEAMENTO ACÚSTICO.

4.4 Medidas mitigadoras

Neste trabalho serão propostas duas medidas a fim de reduzir os níveis de pressão sonora na via estudada, sendo uma delas a redução da velocidade na via e a outra a proibição de circulação de veículos pesados na região.

Para a primeira medida mitigadora ser desenvolvida, é necessária a instalação de redutores de velocidade, tais como lombadas ou radares, os quais ajudariam a manter a velocidade proposta a seguir:

- Motos: 40 km/h;
- Veículos leves: 40 km/h;
- Veículos pesados: 30 km/h.

Como a via é urbana e localizada em um bairro considerado “nobre” de Curitiba, a segunda medida proposta poderia apresentar um resultado significativo, já que não seria muito impactante para a região reduzir o trânsito de veículos pesados em determinados horários. Essa proibição deve ser realizada via legislação municipal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos resultados das medições, é possível obter os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}), para em seguida produzir os mapas acústicos dos mesmos.

As medições são de extrema importância para o estudo, pois além de caracterizar o problema servem também como instrumento de calibração para o modelo de predição acústica. Para calibrar o modelo, é necessário analisar a diferença entre os valores de dB medidos e calculados, sendo o máximo esperado de 4,6 dB (WG-AEN). Caso a diferença exceda esse valor é necessário manipular o modelo computacional até alcançar esse resultado.

5.1 Contagem de veículos e estimativa de velocidade

A realização da contagem de veículos e a estimativa de velocidade possuem o intuito de caracterizar o fluxo de veículos na Avenida Batel. Os valores obtidos para estes dois parâmetros são importantes tanto nas medições quanto para o mapeamento acústico.

Para caracterização do fluxo também foi avaliada a velocidade média para cada ponto do trecho analisado. Para estimar esse valor, foi observada a velocidade máxima permitida no trecho.

- Motos: 60 km/h;
- Veículos leves: 60 km/h;
- Veículos pesados: 50 km/h.

O número de carros, motos e veículos pesados que passaram pelo local durante os 10 minutos das medições consta na TABELA 04. Este valor foi multiplicado por 6, a fim de extrapolar o número de veículos para uma hora, já que o programa computacional utiliza o intervalo de tempo de 60 minutos para gerar o mapa de ruído (TABELA 05).

TABELA 04 - QUANTIDADE DE VEÍCULOS OBSERVADOS EM 10 MINUTOS.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Motos	21	17	27	29	39	35	20	21	22	14	22
Veículos leves	196	165	217	321	283	270	219	266	169	225	237
Veículos pesados	6	4	6	10	12	10	4	9	3	6	2

FONTE: A AUTORA, 2014.

TABELA 05 - QUANTIDADE DE VEÍCULOS OBSERVADA, EXTRAPOLADA PARA UMA HORA.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Motos	126	102	162	174	234	210	120	126	132	84	132
Veículos leves	1176	990	1302	1926	1698	1620	1314	1596	1014	1350	1422
Veículos pesados	36	24	36	60	72	60	24	54	18	36	12

FONTE: A AUTORA, 2014.

Como mostrado na TABELA 05, o trânsito na região analisada é composto em sua maioria por veículos leves. Já veículos pesados circulam em pouca quantidade, levando em consideração tratar-se de uma região central. A composição geral do tráfego na Avenida do Batel está resumida na FIGURA 16.



FIGURA 16 - COMPOSIÇÃO DO TRÁFEGO NA AVENIDA DO BATEL.

FONTE: A AUTORA, 2014.

Os números presentes na Tabela 05 foram então incrementados com o índice de 3,5% ao ano para 5 anos (TABELA 06) e 10 anos (TABELA 07), também equivalendo a uma hora, conforme dados estatísticos apresentados anteriormente.

TABELA 06 - PREDIÇÃO DA QUANTIDADE DE VEÍCULOS PARA 5 ANOS, RESPECTIVO AO ANO DE 2019.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Motos	150	121	192	207	278	249	143	150	157	100	157
Veículos leves	1397	1176	1546	2287	2017	1924	1561	1896	1204	1603	1689
Veículos pesados	43	29	43	71	86	71	29	64	21	43	14

FONTE: A AUTORA, 2014.

TABELA 07 - PREDIÇÃO DA QUANTIDADE DE VEÍCULOS PARA 10 ANOS, RESPECTIVO AO ANO DE 2024.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Motos	178	144	229	245	330	296	169	178	186	118	186
Veículos leves	1659	1396	1837	2717	2395	2285	1854	2251	1430	1904	2006
Veículos pesados	51	34	51	85	102	85	34	76	25	51	17

FONTE: A AUTORA, 2014.

5.2 Nível de pressão sonora equivalente

Nas medições realizadas é possível obter os níveis de pressão sonora equivalente (L_{eq}), os quais serão comparados a fim de observar o efeito do aumento nos níveis de pressão sonora da região.

Para o ano de 2014, no qual foi realizada a medição, os valores obtidos pelo programa computacional são utilizados para calibrar o mapa, comparando-os aos valores medidos, conforme explicado acima. Ao comparar os valores deve-se obter uma diferença máxima de 4,6 dB, como mostrado na TABELA 08, na qual todos os valores estão em dB.

TABELA 08 - CALIBRAÇÃO DO MODELO COM DADOS DE 2014.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valores medidos	73,2	71,5	72,6	73,3	75,4	74,8	76,6	71,0	72,2	72,2	70,8
Valores obtidos pelo programa	74,6	71,3	71,3	72,2	75,5	75,2	75,7	74,0	71,9	73,9	71,3
Diferença	1,4	0,2	1,3	1,1	0,1	0,4	0,9	3,0	0,3	1,7	0,5

FONTE: A AUTORA, 2014.

Confrontando as diferenças encontradas com as especificações citadas anteriormente, podemos inferir que todos os pontos encontram-se dentro do esperado e o modelo está calibrado, sendo utilizado a seguir para simular valores para 2019 e 2024. Para estes anos, haverá apenas os valores de saída do programa computacional, já que caracterizam uma predição e não há medições. Os valores obtidos para 2019 estão na TABELA 09 e para 2024 na TABELA 10 a seguir.

TABELA 09 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2019.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valores obtidos pelo programa	75,4	72,1	72,0	73,0	76,3	76,0	76,4	74,8	72,7	74,6	72,0

FONTE: A AUTORA, 2014.

TABELA 10 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2024.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valores obtidos pelo programa	76,1	72,8	72,8	73,7	77,0	76,5	77,2	75,5	73,4	75,4	72,7

FONTE: A AUTORA, 2014.

Os valores presentes na TABELA 10 mostram um aumento, em média, de 1,5 dB em relação à TABELA 08. Conforme a FIGURA 10, se colocarmos esse valor no gráfico e encontrarmos o seu correspondente, teremos uma diferença de aproximadamente 5 dB nas fontes observadas. Isto é, nos 10 anos observados, o aumento no número de veículos ocasionará fontes de ruído pelo menos 5 dB acima dos observados atualmente.

5.3 Mapeamentos acústicos

O mapeamento acústico mostra de maneira mais clara, através de escala de cores, as regiões mais poluídas acusticamente. Com eles é possível realizar uma comparação visual dos níveis de poluição na via estudada no ano de 2014 com as previsões realizadas para 2019 e 2024.

A FIGURA 17 mostra o mapa acústico elaborado através das medições realizadas em 2014. Nele, é possível perceber que as regiões mais próximas da via são as mais poluídas, representadas pelas cores quentes, como vermelho, roxo e laranja. Afastando-se da via, as regiões passam a apresentar níveis de ruído entre 35 e 50 dB, representados pelas cores verdes e amarelo.

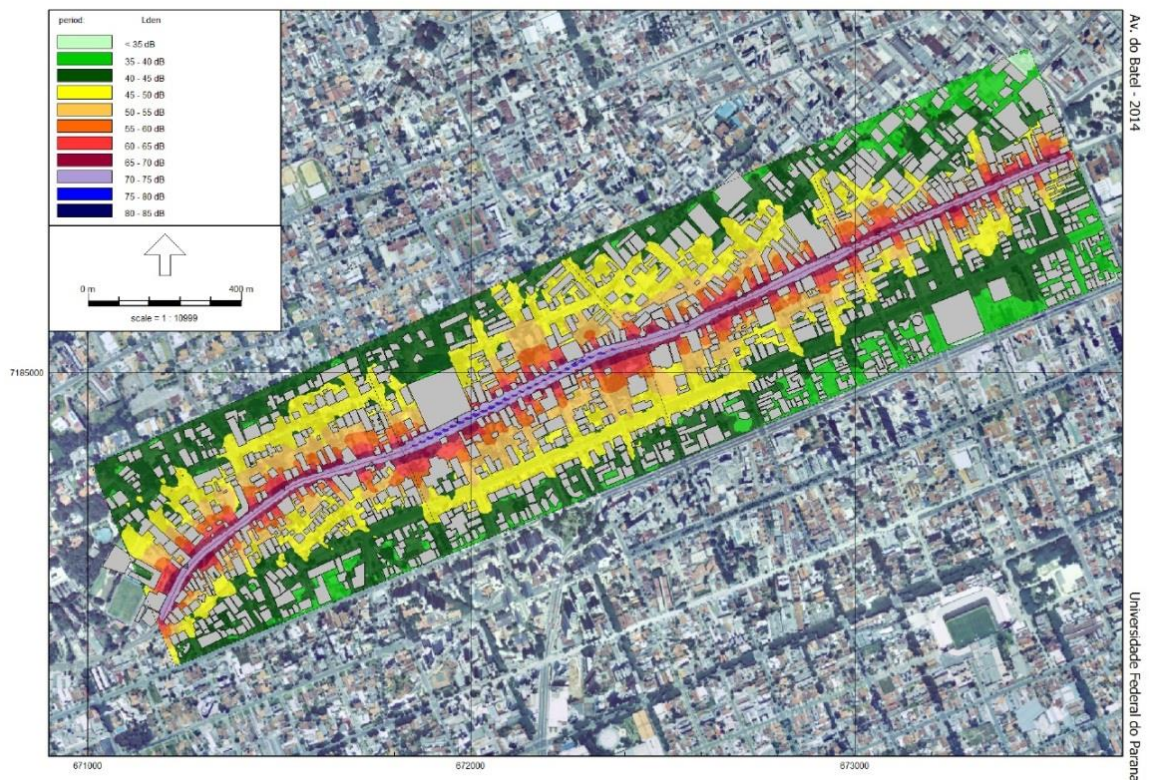


FIGURA 17 - MAPA ACÚSTICO - 2014.
FONTE: A AUTORA, 2014.

A FIGURA 18 representa o mapa elaborado através da previsão para o ano de 2019, utilizando dados estatísticos de aumento no número de veículo. É possível perceber que as áreas de menor nível de ruído, representadas pelas cores verde claro (nível menor de 35 dB) e verde escuro (nível entre 35 e 40 dB), já estão menores, enquanto que as áreas mais próximas à via apresentam ruído ainda maior que o observado em 2014, como por exemplo a região com coloração azul escuro (entre 75 e 80 dB).

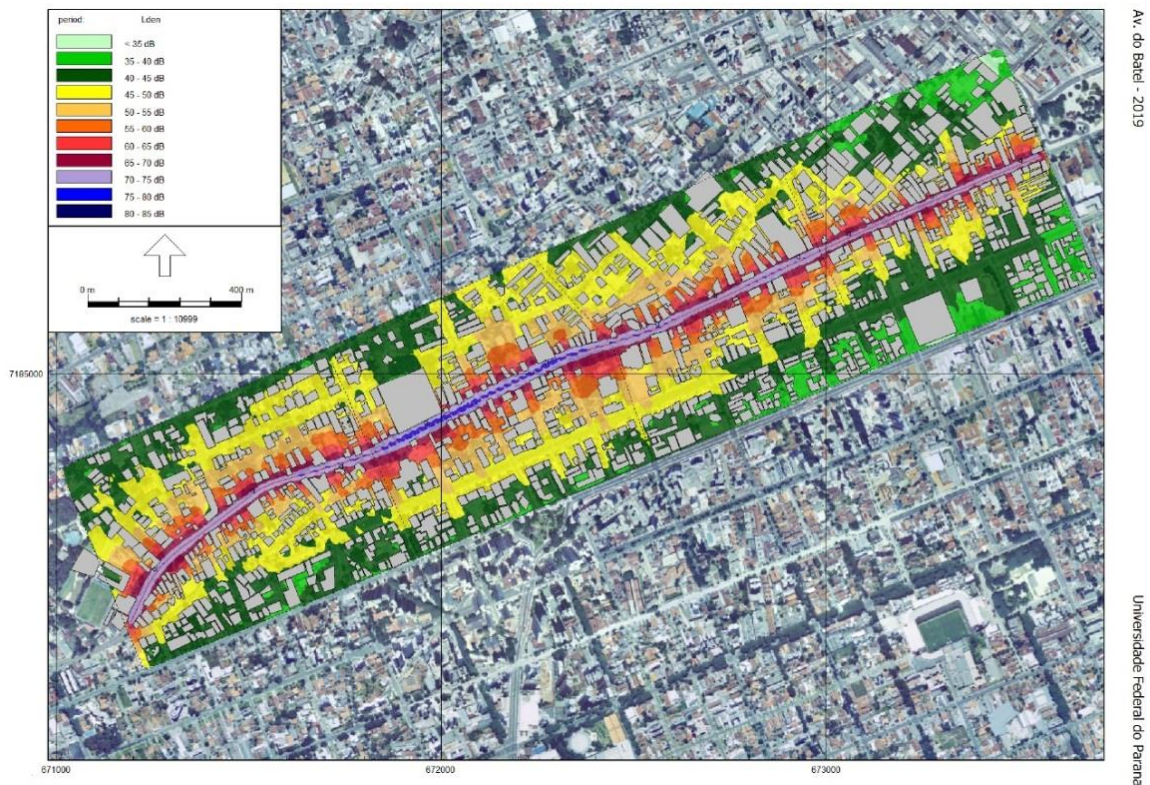
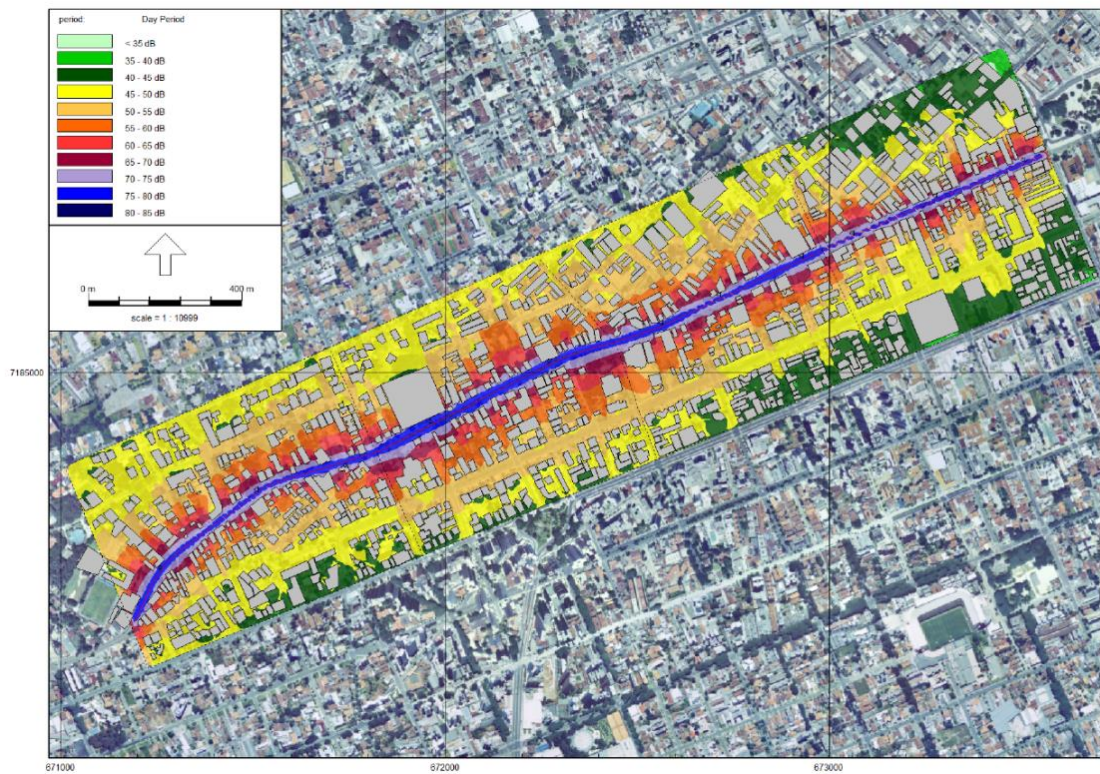


FIGURA 18 - MAPA ACÚSTICO - 2019.
FONTE: A AUTORA, 2014.

Por fim, na FIGURA 19 pode-se visualizar o resultado obtido para o ano de 2024, através da simulação computacional. É possível observar que ocorreu um aumento significativo nos valores mais elevados de pressão sonora em comparação ao ano de 2014 (FIGURA 17).



Av. do Batel - 2024

Universidade Federal do Paraná

FIGURA 19 - MAPA ACÚSTICO - 2024.
FONTE: A AUTORA, 2014.

A FIGURA 20 a seguir mostra a diferença visual na escala de cores entre o ano de 2014 e 2024. As cores que representam valores mais baixos aparecem pouco, principalmente os tons de verde que representam níveis de pressão sonora entre 35 e 45 dB. Houve um aumento na região amarela, com níveis entre 40 e 50 dB. Já os tons azuis e vermelhos mostram que na via e suas proximidades houve um aumento relativamente grande nos níveis de pressão sonora percebidos, alcançando níveis inaceitáveis, superiores a 70 dB, chegando a 80 dB na via (área azul).

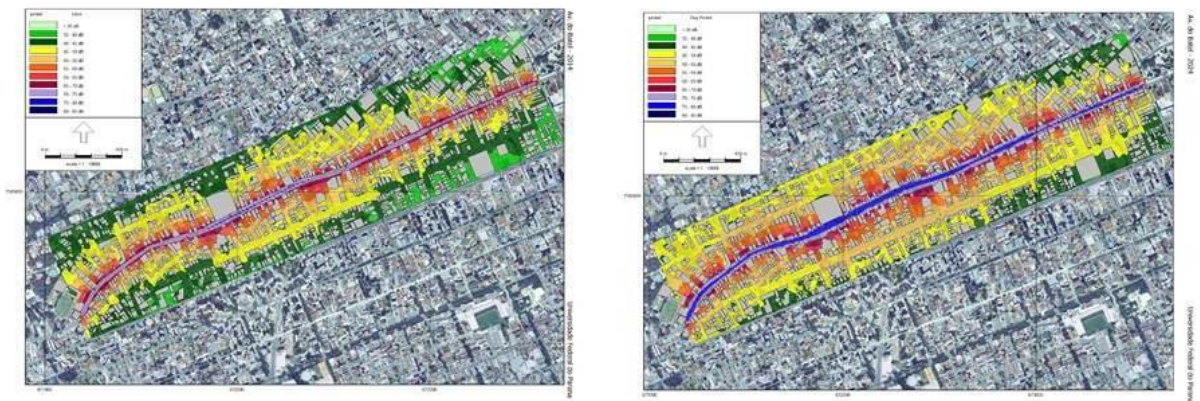


FIGURA 20 - COMPARAÇÃO ENTRE 2014 E 2024.
FONTE: A AUTORA, 2014.

5.4 Comparação com a legislação

Considerando o zoneamento da área central da cidade de Curitiba, mostrado na FIGURA 12, pode-se notar que a Avenida do Batel encontra-se em diferentes zonas urbanas, tais como Zona central (ZC), Zona Residencial 1 e 4 (ZR-1, ZR-4) e Zona Residencial Batel (ZR-B).

De acordo com a Lei Municipal 10.625/2002 de Curitiba, explanada no tópico 3.8.4, para essas áreas há um nível máximo de pressão sonora, sendo 55 dB para ZR-1 e ZR-B e 65 dB para ZC e ZR-4.

Nas medições realizadas em 2014 (TABELA 08), todos os pontos ultrapassaram esses valores máximos, mostrando uma área claramente poluída acusticamente (FIGURA 21). No gráfico, as linhas em vermelho representam os máximos permitidos para as regiões e claramente nos três anos analisados, todos os pontos ultrapassaram esse limite.

Com isso, medidas que reduzam o nível de ruído produzido nessa área mostram-se de extrema importância, devendo ser tomadas desde já, a fim de prevenir os efeitos que os níveis de ruído causarão no futuro.

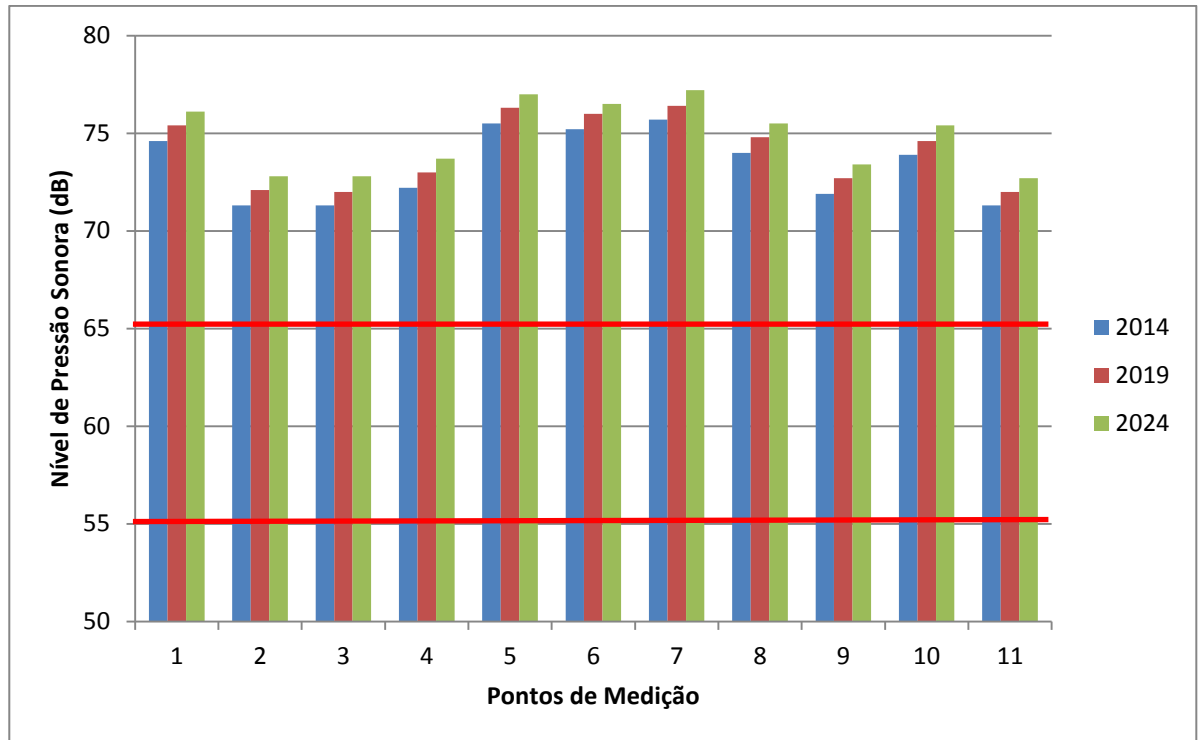


FIGURA 21 - COMPARAÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA.

FONTE: A AUTORA, 2014.

5.5 Medidas mitigadoras

Com a implantação da primeira medida mitigadora proposta – redução da velocidade - e considerando o número de veículos igual ao calculado para 2024, chegou-se aos seguintes níveis de pressão sonora (TABELA 11), medidos em dB.

TABELA 11 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2024, CONSIDERANDO UMA MEDIDA DE REDUÇÃO DA VELOCIDADE DA VIA.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valores obtidos pelo programa	75,5	73,3	72,2	72,9	76,2	75,5	77,1	76,0	73,1	75,4	72,7

FONTE: A AUTORA, 2014.

Os valores observados com a implantação da medida de redução da velocidade não apresentaram uma diferença relevante em relação à TABELA 10, apresentando os mesmos valores em alguns casos. Isso pode ter ocorrido devido ao fato da velocidade proposta não ser muito diferente da praticada atualmente. Dessa forma, essa medida mostrou-se ineficaz, considerando que não se obteve níveis de pressão sonora aceitáveis pela legislação, mesmo após implantá-la.

Com os valores de velocidade propostos, chegou-se ao mapa computacional a seguir (FIGURA 22), que representa a situação visual dos níveis de ruído após a implantação da medida mitigadora. A FIGURA 23 mostra a comparação entre o mapa simulado para 2024 com e sem a medida mitigadora proposta. É possível perceber que não há mudanças visuais relevantes.

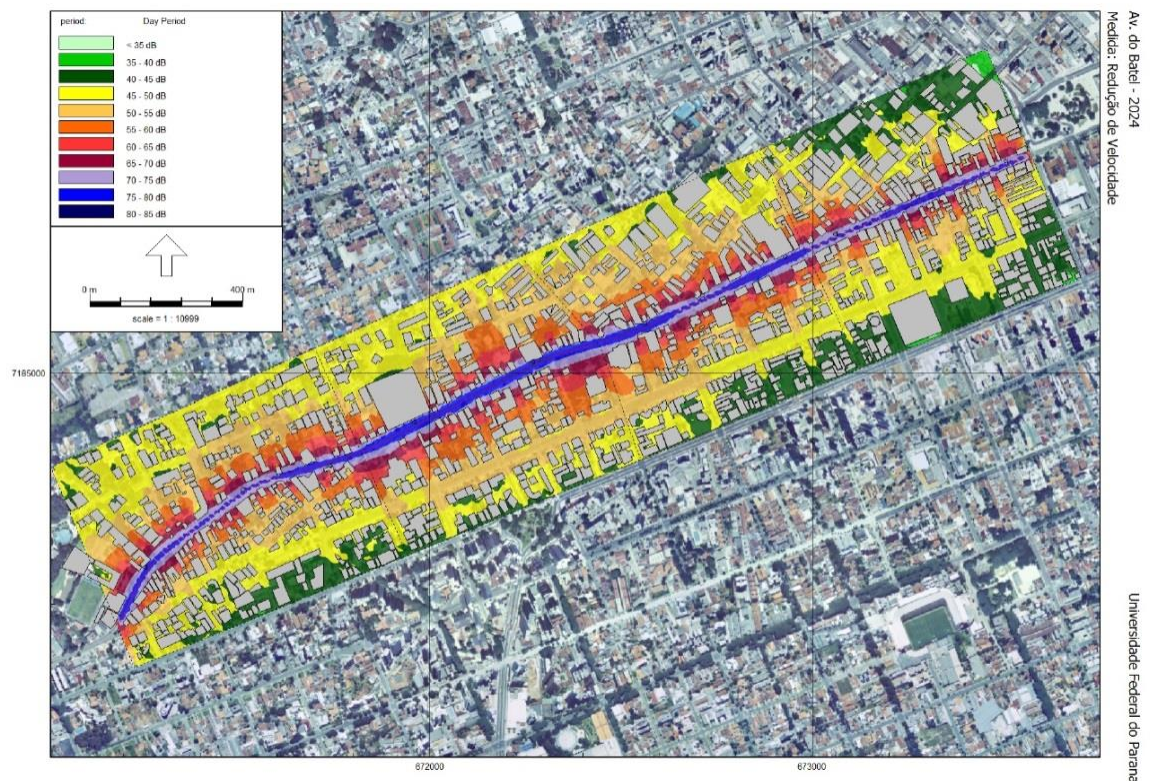


FIGURA 22 - SIMULAÇÃO PARA 2024 COM REDUÇÃO DA VELOCIDADE DA VIA.
FONTE: A AUTORA, 2014.

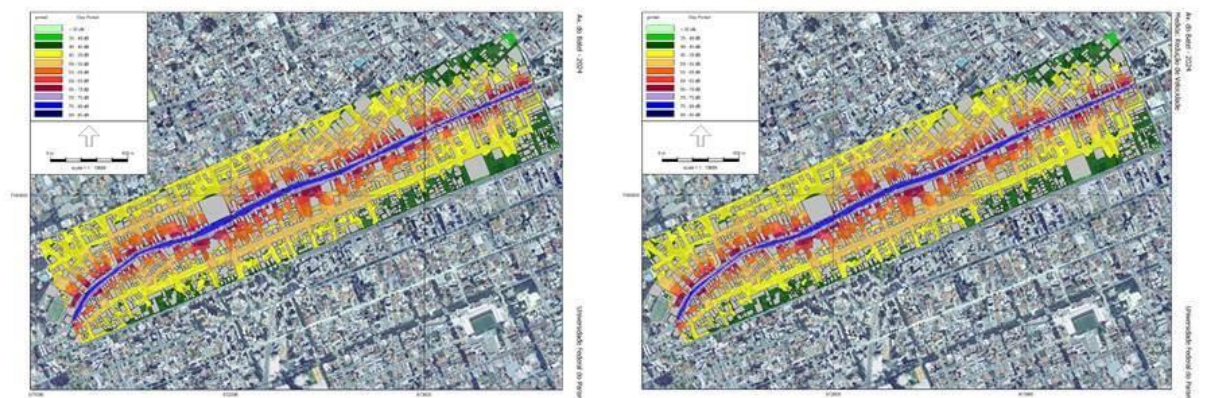


FIGURA 23 - COMPARAÇÃO DOS VALORES SIMULADOS PARA 2024, SEM E COM A MEDIDA MITIGADORA DE REDUÇÃO DE VELOCIDADE NA VIA.
FONTE: A AUTORA, 2014.

Em seguida, realizou-se o estudo de implantação da segunda medida mitigadora – proibição de veículos pesados na via – também utilizando a quantidade de veículos estimada para o ano de 2024, a qual gerou os seguintes valores de nível sonoro (TABELA 12).

TABELA 12 - PREDIÇÃO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA PARA 2024, CONSIDERANDO UMA MEDIDA DE PROIBIÇÃO DE VEÍCULOS PESADOS NA VIA.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Valores obtidos pelo programa	74,7	70,3	72,1	72,5	75,8	75,2	75,3	73,0	72,0	73,0	71,1

FONTE: A AUTORA, 2014.

Os valores da TABELA 12 mostram uma diferença relevante em comparação à TABELA 10. Pode-se observar diferenças de até 2,5 dB, como nos pontos 2 e 8. Essa redução é extremamente eficaz, já que representa uma redução de aproximadamente 50% nas fontes de ruído, como explicado no item 3.7.2. Dessa forma, fica claro que essa medida é eficaz e de fácil implantação, podendo trazer uma solução bastante eficiente para melhorar a qualidade de vida da população residente no entorno da via.

O mapa a seguir (FIGURA 24) mostra o resultado visual na escala de cores que representa os níveis de ruído após a implantação da medida mitigadora, isto é, retirando os veículos pesados das configurações do programa computacional. É possível perceber que há uma quantidade relevante de áreas nas cores verde e amarelo, representado baixo nível de ruído, em comparação à Figura 19. Além disso, nas proximidades da via os tons azuis ocorrem com menor frequência. A FIGURA 25 mostra a comparação entre o mapa de 2024 sem e com a medida.

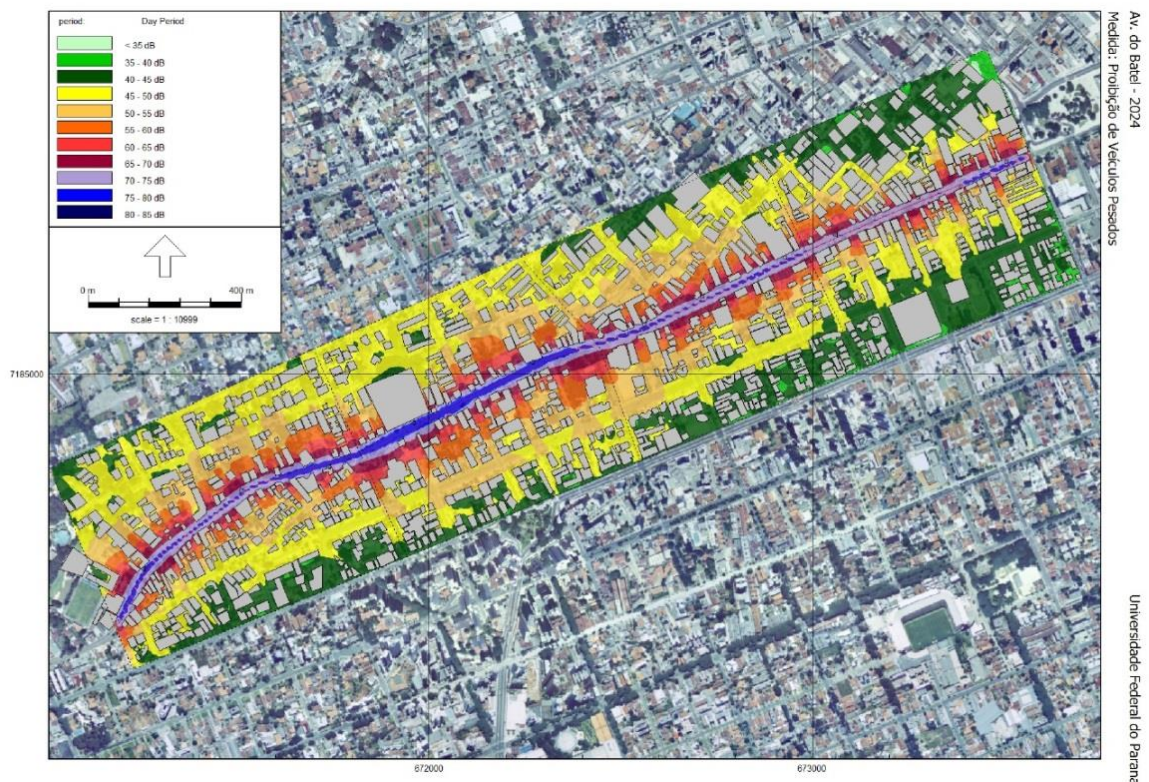


FIGURA 24 - SIMULAÇÃO PARA 2024 COM A MEDIDA MITIGADORA DE PROIBIÇÃO DE VEÍCULOS PESADOS NA VIA.
FONTE: A AUTORA, 2014.

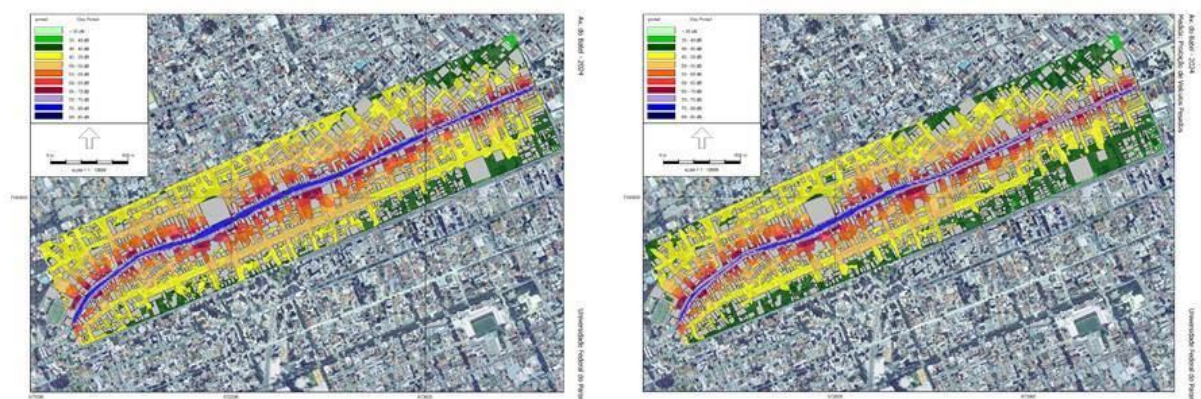


FIGURA 25 - COMPARAÇÃO NOS VALORES SIMULADOS PARA 2024, SEM E COM A MEDIDA MITIGADORA DE PROIBIÇÃO DE PESADOS.
FONTE: A AUTORA, 2014.

Os valores obtidos com essa medida são comparáveis aos observado em 2014, ou seja, em dez anos será necessário tomar ações que reduzam os níveis a que a população é submetida visando manter os níveis atuais, já que um aumento seria extremamente prejudicial.

Entretanto, mesmo que os níveis observados em 2024 sejam próximos aos de agora, os valores continuam acima do permitido pela legislação e causam efeitos negativos aos moradores da região. Esse fato mostra a importância desse tipo de estudo, já que é possível ter ciência da gravidade do problema e iniciar pesquisas de implantação de medidas que atenuem o ruído.

6 CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho podem auxiliar em diversos estudos acerca da composição do trânsito na região da Avenida do Batel, além de levantamentos estatísticos do aumento do número de veículos na cidade de Curitiba como um todo.

Neste estudo é possível inferir que o tráfego é composto em sua maioria por veículos leves, em todos os pontos observados ao longo da via. Além disso, a pesquisa realizada em relação ao número de veículos mostra que ocorrerá um aumento, em média, de 3,5% no número de veículos ao ano, como já é possível observar nos dias atuais. Obviamente, esse valor é uma estimativa, já que pode ser influenciado por diversos outros fatores, como o aquecimento da economia, por exemplo. Entretanto, para realização das simulações aqui mostradas, utilizou-se essa estimativa como base de cálculos e predição do número de veículos circulantes na região.

Levando em consideração os resultados aqui preconizados, pode-se afirmar a existência de uma situação de impacto ambiental negativo classificado como forte em relação às emissões sonoras presentes na Avenida do Batel. Na situação atual, a região está classificada como poluída acusticamente, apresentando níveis de ruído bem acima dos permitidos pela Legislação Municipal nº 10.625., bem como dos valores recomendados normativamente. Além disso, através das simulações utilizando dados estatísticos, também é possível afirmar que futuramente a região será ainda mais afetada pelos níveis de ruído causados pelo tráfego de veículos.

A realização de estudos dessa espécie contribui significativamente para o conhecimento acerca do problema gerado pelo ruído devido ao tráfego de veículos, sendo a poluição sonora vinculada ao planejamento e infraestrutura local. Dessa forma, instituições públicas podem utilizar os resultados apresentados para buscar soluções que melhorem a qualidade de vida da população residente no local.

Os resultados aqui observados demonstram a necessidade de implantar medidas de atenuação da poluição sonora o quanto antes, já que a população já é afetada por níveis superiores aos recomendados nos dias de hoje. O reconhecimento de que esse problema existe e será ainda mais prejudicial futuramente é essencial para que sejam tomadas ações de melhoria que reduzam os níveis e melhorem a qualidade acústica a que as pessoas estão sujeitas.

É possível utilizar os dados aqui apresentados para realizar estudos mais aprofundados, utilizando medidas mitigadoras mais simples como a instalação de lombadas que obriguem os motoristas a reduzir a velocidade até barreiras acústicas mais implementadas, podendo ser confeccionadas de diversos materiais. O estudo mostrou que proibir a passagem de veículos pesados em determinados horários, principalmente no período diurno, traria um resultado significativo na redução dos níveis de pressão sonora. Dessa forma, essa medida mostra-se eficaz e poderia ser implantada como forma de atenuar o problema nessa região.

Esse projeto tem extrema importância, na medida em que pode auxiliar no estudo de impacto ambiental na cidade de Curitiba, contribuindo para um bom planejamento urbano.

REFERÊNCIAS

Acervo Julia Wanderley da Fundação Cultural de Curitiba. **Fotos históricas da cidade de Curitiba**. Disponível em <<http://redememoria.bn.br/>>.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10151: Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade – procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

BABISCH, W.; ISING, H.; GALLACHER, J. E. J. **Health status as a potential effect modifier of the relation between noise annoyance and incidence of ischaemic heart disease**. Occupational & Environmental Medicine, Germany, v. 60, n. 10, p. 739-745, 2003.

BECKENBAUER, T. **Reifen-Fahrbahn-Geräusche – Minderungspotenziale der Straßenoberfläche**. Akustik DAGA/ 2003 Noise Conference, Germany, p. 1-10, 2003.

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

BERANEK, L. L. **Noise Reduction**, 1^a. ed. USA, 1960.

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.

BERGLUND, B.; MASCHKE, C. Economic Impact: Building Value Depreciation. Noise and Health-WHO, Washington, v. 35, p. 14-15, 2000.

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, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle do ruído. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

BRAGANÇA, Luís; FREITAS, Elisabete; PINHEIRO, Daniel. Eficácia das barreiras acústicas. Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho. Portugal, 2009.

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

BUNN, F.; FIEDLER, P.E.K.; ZANNIN, P.H.T. **Avaliação da poluição sonora ambiental – normas e leis usadas no Brasil**. Revista da Sociedade Brasileira de Acústica – SOBRAC, Rio de Janeiro, n.41, p. 47-54, 2010.

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**, Curitiba: Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná, 2002.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem Populacional**. Disponível em <<http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=410690>>.

CARMO, L. I. C. **Ruído: efeitos extra auditivos no corpo humano**. CENTRO DE ESPECIALIZAÇÃO EM FONOAUDIOLOGIA CLÍNICA (CEFAC), Goiânia, 1999.

Cf. FIORILLO, Celso Antonio Pacheco. Curso de direito ambiental brasileiro. p. 124.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **nº 1, de 11 de fevereiro de 1993 Publicada no DOU no 31, de 15 de fevereiro de 1993- Dispõe sobre os limites máximos de ruídos, com o veículo em aceleração e na condição parado, para veículos automotores nacionais e importados, excetuando-se motocicletas, motonetas, triciclos, ciclomotores e bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados.**

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 2, de 2 de abril de 1990: Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – <<SILÊNCIO>>.**

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução No. 1, de 08 de março de 1990: Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política.**

COSTA, V.H.C. O ruído e suas interferências na saúde e no trabalho. Revista da Sobrac., 13.41-60,1994.

DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito – **Dados sobre a frota brasileira de veículos – 2014**. Disponível em <<http://www.denatran.gov.br/frota2014.html>>.

Departamento de Artes da Universidade Federal do Paraná. Disponível em <<http://www.artes.ufpr.br/artes/extensao/batel.htm>>, 2014.

DETRAN - Divisão de Estatística do Departamento de Trânsito do Governo do Estado do Paraná – **Frota de veículos por tipo e Município em julho de 2014**. Disponível em <http://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/frotadeveiculoscadastradospr/2014/frota_julho2014.pdf>.

DETRAN - Divisão de Estatística do Departamento de Trânsito do Governo do Estado do Paraná – **Frota de veículos por tipo e Município em julho de 2013**. Disponível em <http://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/frotadeveiculoscadastradospr/2013/frota_julho_2013.pdf>.

DETRAN - Divisão de Estatística do Departamento de Trânsito do Governo do Estado do Paraná – **Frota de veículos por tipo e Município em julho de 2012**. Disponível em <http://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/estatisticasdetransito/frotadeveiculoscadastradospr/2012/frota_julho_2012.pdf>.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 3ª ed. Curitiba: Positivo, p. 275.

DINIZ, F. B. **Impacto Ambiental Sonoro Gerado por Subestações de Energia Elétrica na Cidade de Curitiba**, 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal do Paraná. FIDEL, IS. Nationwide urban noise survey. *Journal of the Acoustical Society of America* 1978; 64: 198-106.

GERGES, S.N.Y. **Noise in large cities in Brazil**. *Journal of the Acoustical Society of America*, 147th Meeting of the Acoustical Society of America, 2004; 115 (5): 2592.

GERGES, Samir Nagi Yousri. **Ruído: fundamentos e controle**. 2ed. Florianópolis: S.N.Y, 2000.

GOELZER B., HANSEN C. H., SEHRNDT G. A. **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention and Control**. Dortmund: Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2001.

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.

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

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

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

HEDE, A. **Towards a normative modelo of public policy for environmental noise**. Acoustical Australian, Australia, v. 26, n. 3, p. 95-100, 1998.

HOBBS, R. J. **Quality, noise and the environment**. The 1988 International Corrugated Containers Conference & Trade Fair, USA, p. 5-7, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **População de Curitiba** – Disponível em
<<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=410690>>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION STANDARTIZATION – ISO. ISO 3744: **Acoustics – Determinations of sound power levels of noise sources using sound pressure – Engineering method in an essentially free field over a reflecting plane**. Geneva, 1994.

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – **Censo nos Bairros de Curitiba em 2010**. Disponível em:
<<http://www.ippuc.org.br/ippucweb/sasi/home/>>.

KINSLER, L. E; FREY A. R.; COPPENS A. B.; SANDERS J.V. **Fundamentals of Acoustics**. 3.ed. New York: Jhon Wiley & Sons, 1982.

KOTZEN, B.; ENGLISH, C. **Environmental Noise Barriers: a guide to their acoustic and visual design**. 1 ed. London & New York: E & FN Spon, 165 p., 1999.

LAKE, I. R.; LOVETT, A. A.; BATEMAN, I. J.; LANGFORD, I. H. **Modelling Environmental Influences on Property Prices in na Urban Environment**. Comput., Eviron. And Urban System, UK, v. 22, p. 121-136, 1998.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – BRASIL - **Lei N ° 6.938 de 1981** - Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências.

MACIEL, B. A. et al. **Modelagem do ruído urbano como instrumento de gestão ambiental**. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p.5301-5307. Natal: INPE, 2009.

MANNING, C. J.; HARRIS, G. J. **Noise Control in the Transportation Corridor**. Noise and Health, UK, v. 5, n. 18, p. 43-45, 2003.

MANUAL ASHRAE VOLUME SISTEMAS CAPÍTULO 35 – 1980.

MASCHKE, C. **Preventive Medical Limits for Chronic Traffic Noise Exposure**. *Acustica* 1999; 85: 448.

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

NEPOMUCENO, L. X. **Acústica técnica**. 1 ed. São Paulo: Editora Técnico Científica Industrial Ltda. – ETEGIL, 1968.

NIEMEYER, M. L.; SLAMA, J. G. in **Arquitetura: Pesquisa e Projeto**. São Paulo: Proeditores, 1998.

NUNES, Monica; RIBEIRO, Helena. **Interferências do ruído do tráfego urbano na qualidade de vida: zona residencial de Brasília/DF**. Cadernos Metrôpole, São Paulo, v.1, n. 1, p.319-338, 2008.

PHAROAH, T.; RUSSEL, J. **Traffic Calming: Policy and Evaluation in three European Countries**. Occasional papel 2/89, London: South Bank Polytechnic, Faculty of the Built Environment, 1989.

PRIEDE, T. **The effect of operating parameters on sources of vehicular traffic**. Journal Sound and Vibration, London, v. 43, n. 2, p. 239-252, 1975.

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

RAMIS, Jaime. et al. **Noise effects of reducing traffic flow through a Spanish city**. Applied acoustics, Valencia, v.64, n. 1, p. 343-364, 2003.

RENTERGHEM, V. T.; BOTTELDOOREN, D. Reducing the Acoustical Façade Load From Road Traffic With Green Roofs. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 1081-1087, may 2009.

ROSSING T. D.; MOORE F. R.; WHEELER P. A. **The Science of Sound**. 2 ed. Los Angeles: Pearson Addison Wesley, 1990.

SAMUEL, S.; ANCICH, E. **Recent developments in the design and performance of road traffic noise barriers**. Noise & Vibration Worldwide, Australia, v. 33, n. 3, p. 73-78, 2002.

SANCHO, V. M.; SENCHERMES, A. G. **Ruido de Trafico Urbano e Interurbano. Manual para la planificación urbana y la arquitectura**. 1 ed. Madrid: CEOTMA, 287 p., 1983.

SANDBERG, U. **Road Traffic Noise – The Influence of the Road Surface and its Characterization**. Applied Acoustics, Sweden, v. 21, p. 97-118, 1987.

SCHULTZ T. J. **Community Noise Rating**. 2 ed. New York: Elsevier Applied Science, 1972.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E CONTROLE URBANO – Fortaleza (SEMAN) – **Lei Nº 5530 17 de dezembro de 1981** – Códigos de obras e posturas do Município - Capítulo XLI – Seção II da Poluição Sonora.

SECRETARIA MUNICIPAL DE URBANISMO – CURITIBA (SMU). **Lei N° 9.800 de 03 de janeiro de 2000.** Dispõe sobre o zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba e dá outras providências, 2000.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – CURITIBA (SMMA). **Lei N° 10.625, de 19 de fevereiro de 2002.** Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências. Diário Oficial do Estado do Paraná, 9 p., 2002.

SECRETARIA MUNICIPAL DO VERDE E DO MEIO AMBIENTE – CIDADE DE SÃO PAULO - **Lei N ° 11.986 16 de Janeiro de 1996** - dispõe sobre o controle de ruídos de estabelecimentos como bares, boates, restaurantes, academias.

SELIGMAN, J. **Efeitos não auditivos e aspectos psicossociais no indivíduo submetido a ruído intenso.** Revista Brasileira de Otorrinolaringologia., 59.9-257,1997.

SILVA, Pérides. **Acústica arquitetônica.** Belo horizonte: Edições Engenharia e Arquitetura, 1971.

SOUZA, Lea C. L. de; ALMEIDA, Manuela G. de; BRAGANÇA, Luís. **Bê-á-bá da acústica arquitetônica.** Bauru: Edufscar, 2006.

STOILOVA, K.; STOILOV. **Traffic noise and traffic light control.** Transportation Research Part D: Transport and Environment, Bulgarian, v. 3, n. 6, p. 399-417, 1998.

TAYLOR, S. M.; BRESTON, B. E.; HALL, F. L. **The effect of road traffic noise on house prices.** Journal of Sound and Vibration, Canadá, v. 80, n. 4, p. 523-541, 1982.

WATERS, P. E. **Commercial road vehicle noise.** Journal of Sound and Vibration, UK, v. 35, n. 2, p. 155-222, 1974.

WATTS, G. R.; MORGAN, P. A. **Acoustic Performance of na Interference-Type Noise-Barrier Profile.** Applied Acoustics, UK, v. 49, n. 1, p. 1-16, 1996.

WG-AEN – Working Group Assessment of Exposure to Noise.

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/>>PMC, 2002.

Zannin PHT; Diniz, FB. **Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil, 2002**. *Applied Acoustics* 2002; 63: 351-358.

ZANNIN, P.H.T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F.B.; FERREIRA, J.A. **A Survey of Urban Noise Annoyance in a Large Brazilian City: The Importance of a Subjective Analysis in conjunction with an Objective Analysis, 2003**. *Environmental Impact Assessment Review* 2003; 23: 245-255.

ZANNIN, P.H.T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F.B.; CALIXTO, A. **Environmental noise pollution in residential areas of the city of Curitiba, 2001**. *Acustica* 2001; 87: 625-628.

ZANNIN, PHT; CALIXTO, A.; DINIZ, F.B.; FERREIRA, J.A.; SCHULI, R.B. **Incômodo causado pelo ruído urbano à população de Curitiba, PR**. *Rev. Saúde Pública* 2002; 36 (4): 521-4.