

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ADALICE FLÁVIA DUARTE DE MEDEIROS

**USO DA PASSAGEM INFERIOR COMO SOLUÇÃO
NA REDUÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO**

João Pessoa
Novembro/2016

Adalice Flávia Duarte de Medeiros

**USO DA PASSAGEM INFERIOR COMO SOLUÇÃO
NA REDUÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Curso de graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba como parte do requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Leal Pimentel

João Pessoa
Novembro/2016

FOLHA DE APROVAÇÃO

ADALICE FLÁVIA DUARTE DE MEDEIROS

**USO DA PASSAGEM INFERIOR COMO SOLUÇÃO
NA REDUÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO**

Trabalho de Conclusão de Curso em 21/11/2016 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Roberto Leal Pimentel

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

Prof. Dr. Ricardo Almeida de Melo

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

Prof. Dr. Clovis Dias

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UEPB

Profa. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, irmãos, namorado, sogros e amigos que me deram muito carinho e apoio. Dedico, em especial, a minha mãe que não mediu esforços para me fazer chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Preciso agradecer a Deus e, principalmente, aos meus pais, irmãos, namorado e sogros que sempre me ampararam e me encorajaram nos momentos difíceis; a minha mãe, Adalcídia, que sempre ajuda em tudo, faz de tudo pela minha felicidade e que sempre me apoiou e me aguentou quando eu estava nervosa ou ansiosa em vários momentos do curso; ao meu pai, Eraldo, que sempre me amou, incentivou e me compra caranguejo e camarão quando eu estou triste; aos meus irmãos, Ophir e Adaline, que me amam, são meus amigos, companheiros e gostam de assistir os mesmos desenhos que eu; ao meu namorado, Rayff, por toda a amizade, amor e companheirismo durante todo o curso e, sempre estudando juntos, trabalhando juntos, viajando juntos e com preguiça juntos, você me completa; aos meus sogros, Severino e Joselma, que são como meus segundos pais e sempre estão disponíveis para me ajudar, sou muito sortuda por ter vocês também. Vovó Elba, Vovó Luiza, Tia Quinha e Tia Timira, eu amo vocês.

Aos poucos e bons amigos que fiz ao longo da vida e do curso, por toda a ajuda que me deram; às amigas Barbara, Juliana, Milena, Sara e Viviane, amigas desde o tempo do colégio, passamos por várias fases juntas e essa é mais uma; Aos amigos Amália, Cintia, Dayene, Edevaldo e Mirian que me ensinaram a amar a Engenharia Civil desde do IFPB e estão sempre presentes até hoje; Adriane, Erickson, Leticia, Ramoon, Tiago Teotônio e Vinicius Urquiza, estamos juntos desde o início de curso e nunca mais vamos nos separar, obrigada por toda ajuda e amizade, hoje e sempre; Bianca, Diogo Accioly, Luan e Natália amigos do curso que quero levar para toda a vida; Camila, Roberta e Thais, o que Analise I uniu ninguém separa, amigas a médio tempo porém muito consideradas.

Dedico um parágrafo, em especial, a todos os amigos que me ajudaram a fazer as medições, sem vocês esse trabalho não seria possível, literalmente, obrigada a Adalcídia (mãe), Adaline (irmã), Adriane, Beatriz (cunhada), Bianca, Camila, Diogo Accioly, Gabriel, Gabryela, Marcio, Matheus (primo), Ramoon, Rayff e Roberta; sou imensamente grata a todos vocês.

Por fim, mas não menos importante, ao meu professor orientador Roberto e ao meu professor Ricardo, por me ajudarem do início ao “fim” (ainda em andamento) com esse trabalho, por serem professores muito presentes e dedicados me auxiliando sempre indo em todas as medições, disponibilizando recursos, tempo e sempre disponíveis para esclarecer minhas dúvidas. Desculpa por todo o trabalho que eu dei e ainda vou dar.

Aos meus familiares pelo apoio incondicional, meu sentimento é de gratidão.

RESUMO

O crescimento da população em conjunto com o crescimento do número de veículos tem proporcionado um aumento significativo da poluição sonora em meio urbano. Os entraves provenientes do ruído de tráfego nos grandes centros urbanos vêm afetando proeminentemente a qualidade de vida da população, mas não vem tendo a devida atenção do poder público. Medidas que minimizem o impacto do ruído têm sido criadas, sendo a utilização de barreiras acústicas uma delas. Sua utilização é uma solução bastante usual; com ela é possível produzir uma atenuação do nível de ruído por meio da restrição à passagem do som diretamente da fonte para o receptor. O tipo de barreira acústica urbana estudada é o uso de passagens inferiores para vias de tráfego intenso. Elas surgem como uma possível solução para a minimização do ruído sem causar grandes impactos visuais e ainda melhorar o conforto acústico das áreas circunvizinhas. Esta pesquisa se deu por meio de medições simultâneas, em vários dias diferentes, do nível de ruído no local e foram feitas correlações com expressões do CoRTN para estimativa do ruído, verificando por meio comparativo os benefícios que a passagem inferior pode prover como solução acústica. Na comparação entre os valores estimados sem passagem inferior e os medidos no local, houve uma redução média de 11,8 dB(A); constatou-se, também que, via de regra, a atenuação do nível de ruído é crescente com a distância entre a borda da passagem inferior e o ponto de recepção. Concluiu-se que a passagem inferior causa uma atenuação expressiva no nível de ruído apenas para os pontos localizados na zona de sombra acústica, confirmando a eficiência da passagem inferior como uma solução para a minimização do ruído de tráfego.

Palavras-chave: Passagem Inferior, Ruído de Tráfego, Barreiras Acústicas, Predição Acústica.

ABSTRACT

Highway traffic noise is the main source of noise pollution. With the increasing number of motor vehicles, noise pollution caused by highway traffic has drawn increasing attention in the past few decades. The fast urbanization of cities has contributed to multiply the number of sources of noise, interfering in daily activities. Noise-minimizing measures have been created, like noise barriers, that are being used in order to control this problem. The use of acoustic barriers is quite usual and they enable the reduction of noise levels by restricting the passage of sound waves directly from the source to the receiver. The underpasses can be considered an acoustic barrier and it rises as a possible solution to reduce the noise intensity without causing a substantial visual impact. Besides, it improves the acoustic comfort of the surrounding areas. This study, which involves in situ measurements and acoustic simulations using CoRTN's expressions, demonstrates the benefits that the underpasses can provide as an acoustic solution. Comparing the estimated values without underpass with the in situ measurements, it was noted a reduction of 11.8 dB (A) on average. It was observed that, in general, the noise reduction level is increasing with distance. In conclusion, underpasses cause a significant attenuation in noise levels only for the points located in the acoustic shadow zone. This confirms the efficiency of the lower passage as a solution for the minimization of traffic noise.

Keywords: Road Traffic Noise, Acoustic Simulation, Underpasses, Acoustic Barriers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas A, B, C.....	16
Figura 2 – Esquema de uma fonte linear.....	20
Figura 3 – Onda sonora na presença de uma barreira acústica.....	22
Figura 4 - Passagem inferior utilizada para o escoamento de via expressa.....	24
Figura 5 - Desenho explicativo da equação 4.....	27
Figura 6 – Diferença de percurso devido à uma obstrução	27
Figura 7 - Geometria da barreira vertical, $\theta = 0^\circ$	29
Figura 8 - Localização do município de João Pessoa em relação a região Nordeste do Brasil.....	31
Figura 9 - Localização do bairro de Tambauzinho no município de João Pessoa.....	32
Figura 10 - Fotos do local de estudo	33
Figura 11 - Desenho esquemático da área de estudo onde são mostradas medidas e alguns equipamentos de medição	34
Figura 12 - Medidor de velocidade e filmadora no local de medição	34
Figura 13 – Equipamento que fica localizado no P01	35
Figura 14 – Decibelímetros de modelos MSL-1354, 1352-C e 2250L, respectivamente.	35
Figura 15 - Medidor de velocidade	36
Figura 16 - Filmadora Sony	36
Figura 17 - Decibelímetros nos tripés	38
Figura 18 - Captura de tela da filmagem realizada no dia 08 de novembro de 2016.....	39
Figura 19 – Gráfico comparando todos os LA_{eq} em dB(A) previstos, reais, atenuação e o erro.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre LAeq e L10 para cara ponto medido por dia.....	41
Tabela 2 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 27/09.....	43
Tabela 3 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 06/10.....	43
Tabela 4 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 01/11.....	43
Tabela 5 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 08/11.....	44
Tabela 6 – Dados do tráfego no dia 27/09.....	44
Tabela 7 - Dados do tráfego no dia 06/10.....	44
Tabela 8 - Dados do tráfego no dia 01/11.....	45
Tabela 9 - Dados do tráfego no dia 08/11.....	45
Tabela 10 - Cálculo do L ₁₀ , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 27/09.....	46
Tabela 11 - Cálculo do L ₁₀ , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 06/10.....	46
Tabela 12 - Cálculo do L ₁₀ , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 01/11.....	46
Tabela 13 - Cálculo do L ₁₀ , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 08/11.....	47
Tabela 14 - Cálculo do LA _{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 27/09.....	48
Tabela 15 - Cálculo do LA _{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 06/10.....	48
Tabela 16 - Cálculo do LA _{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 01/11.....	49
Tabela 17 - Cálculo do LA _{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 08/11.....	49
Tabela 18 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 27/09.....	51
Tabela 19 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 06/10.....	51
Tabela 20 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 01/11.....	52
Tabela 21 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 08/11.....	52

Tabela 22 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 27/09.....	53
Tabela 23 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 06/10.....	54
Tabela 24 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 01/11.....	54
Tabela 25 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 08/11.....	55
Tabela 26 - Correções em dB(A) para difração e reflexão.....	56
Tabela 27 – Comparação de todos os LA _{eq} em dB(A) previstos e reais	56

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. <i>Objetivo geral</i>	13
1.1.2. <i>Objetivos específicos</i>	13
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1. SOM E RUÍDO.....	14
2.2. RUÍDO DE TRÁFEGO	18
2.3. BARREIRAS ACÚSTICAS NO AMBIENTE URBANO	21
2.4. MODELOS DE PREVISÃO DE RUÍDO	24
2.4.1. <i>CoRTN</i>	25
3. METODOLOGIA	31
3.1. CIDADE DE JOÃO PESSOA.....	31
3.2. REGIÃO DE ESTUDO: O BAIRRO TAMBAUZINHO – JOÃO PESSOA (PB).....	32
3.3. MATERIAIS E MÉTODO.....	33
3.3.1. <i>Caracterização da região de estudo</i>	33
3.3.2. <i>Equipamentos Utilizados</i>	35
3.3.3. <i>Procedimento de coleta de dados</i>	37
3.3.3.1. Medições do nível de pressão sonora	37
3.3.3.2. Dados do tráfego	39
3.3.3.3. Dados geométricos.....	40
3.3.4. <i>Procedimentos para estimativas do nível de ruído</i>	40
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	59
6. REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE	67

1. INTRODUÇÃO

Em países economicamente em desenvolvimento, como Brasil, Índia e China, o aumento dos níveis de poluição sonora estão associados com o crescimento acelerado das cidades e o aumento da circulação de veículos automotores. (ZANNIN e SANT'ANA, 2011).

Um crescente número de estudos na área da saúde identifica que a sociedade gasta quantias significativas de tempo em estradas de vias expressas, de alto tráfego, experienciando um aumento nos riscos de uma série de efeitos adversos. (BALDAUF, 2016).

Onuu (2000) acrescenta que o impacto do ruído de tráfego, que tem um grande efeito de longo alcance, tem se intensificado por causa da industrialização e urbanização, resultando em um considerável aumento nos níveis de ruído. Assim, o ruído rodoviário tornou-se um assunto de preocupação imediata, no mundo todo, para muitas autoridades.

Atualmente, nos espaços urbanos, o ruído é reconhecido como um elemento de degradação ambiental e tem relação direta com costumes e o hábito da sociedade. A maior inquietação provém do fato de que este ruído é capaz de provocar efeitos nocivos à saúde da população. Procura-se, portanto, intervenções no meio que possam diminuir a intensidade dos sons que atingem o receptor. A utilização de barreiras acústicas tem se tornado uma alternativa bastante usual para o controle de ruído.

Saliunas e Volkovas (2015), por sua vez, diz que o ruído de tráfego rodoviário e medidas para reduzi-lo são amplamente investigadas de pontos de vista diferentes: partindo da investigação do ruído a partir da sua origem, continuando com as investigações sobre sua propagação e redução (utilizando barreiras, plantas, entre outros.).

A barreira acústica urbana que será objeto de estudo é o uso de passagens inferiores para vias de tráfego intenso. Elas surgem como uma provável solução para a minimização do ruído sem causar grandes impactos visuais e ainda melhorar o conforto acústico das áreas adjacentes.

Neste cenário, objetiva-se avaliar o efeito benéfico da passagem inferior do ponto de vista da redução dos impactos causados pelo ruído produzido por tráfego em vias expressas. Isto se dará por meio de medições do nível de ruído e correlações com expressões da literatura para estimativa do ruído, verificando de forma comparativa os benefícios que a passagem inferior pode prover como solução acústica.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Avaliar o potencial efeito benéfico da passagem inferior do ponto de vista de minimização dos impactos do ruído produzido por tráfego em vias expressas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Medir o nível de ruído em 14 pontos distintos nos arredores da passagem inferior;
- Fazer a correlação com expressões da literatura para a estimativa do ruído;
- Avaliar e verificar o efeito benéfico da passagem inferior na redução do ruído de tráfego.

1.2. Estrutura do trabalho de conclusão de curso

O presente trabalho é composto por cinco capítulos, dispostos da seguinte forma:

1º CAPÍTULO - INTRODUÇÃO: Tem por finalidade dar uma ideia geral sobre a importância e pertinência do tema, os objetivos do trabalho e a estrutura.

2º CAPÍTULO – REFERENCIAL TEORICO: Apresenta conceitos sobre som, ruído, ruído de tráfego, acústica e barreiras acústicas, métodos de previsão de ruído, com a preocupação de que este trabalho possa ser útil também às pessoas que não estejam habituadas com esse tipo de área de atuação. Ocorre a apresentação de fundamentos teóricos importantes ao desenvolvimento deste trabalho, citando publicações nacionais e internacionais

3º CAPÍTULO - METODOLOGIA: Descreve a metodologia utilizada em todas as fases do trabalho.

4º CAPÍTULO - RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS DADOS: Os resultados obtidos nas medições realizadas são apresentados neste capítulo, devidamente discutidos e analisados.

5º CAPÍTULO – CONCLUSÕES E PESPECTIVAS: São apresentadas as conclusões alcançadas, sugestões e previsões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Som e ruído

O Som se caracteriza por flutuações de pressão em um meio compressível. No entanto, não são todas as flutuações de pressão que produzem a sensação de audição quando atingem o ouvido humano. A sensação de som só ocorrerá quando a amplitude destas flutuações e a frequência com que elas se repetem estiverem dentro de determinadas faixas de valores (GERGES, 2000).

Qualitativamente, o ruído se diferencia do som por ser do tipo indesejável, em geral de conotação negativa, e considerado um dos grandes problemas de poluição das cidades. O som é uma experiência tão comum no nosso cotidiano que raramente nos damos conta de todas as suas funções. Do ponto de vista do fenômeno físico, o som é definido como qualquer variação de pressão que o ouvido possa detectar. (BISTAFA, 2006).

O ruído é associado a uma sensação não prazerosa. A fronteira entre som e ruído não pode ser definida com precisão, pois, cada indivíduo apresenta uma reação diferente ao som ou ao ruído, que depende dentre outros fatores, de seu estado emocional e de sua personalidade. (CALIXTO, 2002).

Segundo Gerges (2000), pode-se definir a frequência como o número de oscilações por segundo do movimento vibratório das partículas; ela é dada em ciclos por segundo, Hertz (Hz). Na faixa de frequência de 20 a 20000 Hz as ondas de pressão no meio podem ser audíveis.

A unidade usual para a pressão sonora é o Newton por metro quadrado (N/m^2), ou Pascal (Pa). Existe um valor de pressão sonora abaixo do qual o sistema auditivo dos seres humanos não é mais sensibilizado. Esse valor é aproximadamente $2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$, ou $20 \mu\text{Pa}$. Qualquer nível de pressão sonora maior ou igual a este valor é traduzido pelo ouvido humano como uma sensação auditiva (limiar da audição) até o limiar da dor, cuja pressão é aproximadamente 200 N/m^2 ou 200 Pa (SCHULTZ, 1972).

Para se expressar os valores das pressões sonoras na faixa da audibilidade humana de forma linear, como por exemplo, em N/m^2 , seria necessária uma escala muito ampla e, portanto, de difícil utilização (CALIXTO, 2002). Como a faixa de valores para pressão sonora é grande, pois vai de $20 \mu\text{Pa}$ até 200 Pa , é conveniente expressar o nível de pressão sonora em uma escala em decibels; sua conversão para esta escala pode ser obtida a partir da Equação 1.

$$L_p = 10 \log\left(\frac{P^2}{P_0^2}\right) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

L_p = Nível de pressão sonora (NPS) em deciBel (dB),

P = valor da pressão sonora a ser comparada,

P_0 = valor de referência da pressão sonora.

O valor de referência adotado é $2 \cdot 10^{-5}$ N/m² ou 20 µPa, que corresponde aproximadamente ao limiar da audição humana.

O ruído se caracteriza pela existência de muitas amplitudes e frequências ocorrendo ao mesmo tempo de maneira não harmônica, enquanto que o som se caracteriza por poucas amplitudes e frequências, geralmente harmônicas. (POLETTTO, 2011).

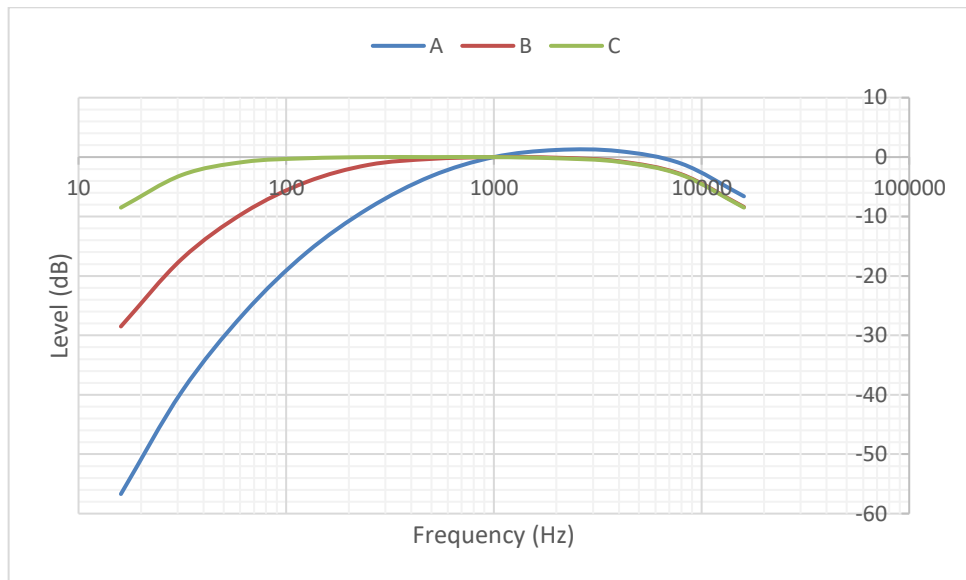
Para estudar ruídos de diferentes frequências faz-se necessário o uso de curvas de ponderação. Segundo Gerges (2000), as curvas de ponderação surgiram devido ao fato do ouvido humano não ser igualmente sensível ao som em todo o espectro de frequências. Um ser humano exposto a dois ruídos iguais em intensidade, porém distintos em frequência, terá uma sensação auditiva diferente para cada um deles.

Várias curvas foram então propostas na tentativa de se fazer com que os níveis sonoros captados pelos medidores fossem devidamente corrigidos para assemelharem-se à percepção do som pelo ouvido humano. Essas curvas de ponderação (Figura 1) foram designadas pelas letras A, B, C, etc. (SCHULTZ, 1972).

Segundo Fantini Neto (2010), a curva “A” é utilizada para ruídos contínuos ou intermitentes e a curva “C” é utilizada para medição de ruídos de impacto. As demais curvas (B, D), são utilizadas conforme as necessidades de aplicação de normas de controle de exposição ao ruído.

A curva de compensação A é a mais indicada para estudo do ruído de tráfego, tendo em vista os níveis de pressão sonora e as faixas de frequências predominantes neste tipo de ruído. (CALIXTO, 2002).

Figura 1 - Curvas A, B, C



Fonte: Adaptado Fahy, 1985

Os medidores de nível de pressão sonora (“decibelímetros”) possuem recursos para aplicação desta curva de ponderação, fornecendo o valor de pressão sonora total ponderada (em dB(A)).

Para a medição do ruído é necessário que seja medido o nível de pressão sonora equivalente (LAeq), utilizando-se de um medidor de nível de pressão sonora (decibelímetro). A medição é expressa em decibels ponderados pela curva “A”, ou seja, em dB(A).

Santos (1996) afirma que o nível equivalente de ruído tem como finalidade representar a média de energia sonora durante um intervalo de tempo, isso porque os níveis de ruído variam de maneira aleatória no tempo.

O nível sonoro equivalente é um nível constante que equivale, em termos de energia acústica, aos níveis variáveis do ruído, durante o período de medição. (CALIXTO, 2002).

Assim, é definido um valor único (a partir da Equação 2), chamado nível de pressão sonora equivalente, LAeq, que é o nível sonoro médio integrado durante um dado intervalo de tempo.

$$LA_{eq} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$$

Equação 2

Onde:

LA_{eq} = Nível de pressão sonora equivalente em decibel(A) (dB(A)),

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

n = é o número total de leituras.

O Procedimento geral para a medição da pressão sonora é definido pela norma “NBR 10151/2000 – Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade”.

Da distribuição de frequência acumulada de registros de medições experimentais de pressão sonora, os percentis 10, 50 e 90 permitem avaliar a intensidade de ruído excedida em função do tempo de medição, que representam, respectivamente, os níveis de ruído máximo, médio e de fundo (LANGDON e SCHOLLES, 1968).

Os níveis de pressão sonora (LA_{eq} , L_{10} e L_{90} entre outros) podem ser correlacionados com tráfego de veículos, velocidade, distância da fonte sonora, tipo de cobertura do terreno e geometria da via, para a criação de modelos de previsão de ruído do tráfego. O modelo apresenta como vantagens permitir análises paramétricas e fazer projeções dos níveis de ruído em tempo e a custo inferior ao de medições experimentais. (MELO et al., 2015).

Os medidores de nível de pressão sonora são formados basicamente por um transdutor (microfone de precisão ou receptor) que transforma a pressão sonora em um sinal elétrico, filtros de ponderação, retificadores, amplificadores de sinal de alta qualidade, um sistema de detecção formado de transistores e um mostrador que indica o nível de ruído em dB (MAIA, 2001).

Segundo a NBR 10151, recomenda-se que o equipamento possua recursos para medição de nível de pressão sonora equivalente ponderada em “A” (LA_{eq}). (ABNT, 2000).

O L_{10} tem sido considerado, ao longo dos anos um ótimo parâmetro para descrever o ruído do tráfego rodoviário, uma vez que correlaciona muito bem as perturbações que as pessoas sentem quando estão próximas de estradas movimentadas, bem como situações mais rurais. Por definição o valor L_{10} é o nível apenas ultrapassado durante 10% do tempo e leva em conta

eventuais picos irritantes de ruído. O L_{10} é utilizado no planejamento de novos projetos rodoviários. Analogamente, o L_{90} é o nível de ruído ultrapassado durando 90% do tempo, esse valor do L_{90} tem sido amplamente adotado para quantificar o ruído de fundo. (MANUAL B&K MODELO 2250L, 2016).

2.2. Ruído de tráfego

Os impactos da poluição sonora a tornaram uma das mais graves formas de degradação ambiental. Entretanto, considerando o constante crescimento urbano e demográfico, com respectivo aumento e adensamento das fontes de ruído, as ações de controle tornam-se tão complexas, quanto urgentes. (BRESSANE et al., 2015).

É nas cidades onde se concentram diversos tipos de problemas ambientais. Neste contexto, segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2011), a poluição sonora já é considerada a segunda causa de poluição no mundo, perdendo apenas para a do ar.

Já é bem consolidado que uma longa exposição ao ruído pode causar severos efeitos maléficos para a saúde, incluindo a redução da qualidade do sono, dano para as capacidades cognitivas, bem como uma sensação de irritação e uma diminuição de desempenho. (OUIS, 2001).

Dessa forma, além de afetar a saúde pública, a poluição sonora ainda pode comprometer atividades socioeconômicas e a manutenção da biodiversidade urbana, ao afugentar e interferir na reprodução da fauna que atua como dispersora genética da flora (HALFWERK et al., 2011).

A poluição sonora consiste no ruído excessivo, emissão e propagação de energia acústica que altera as condições ambientais em níveis superiores aos padrões estabelecidos, comprometendo a saúde humana e demais formas de vida (BRESSANE, SANTARINE e MAURICIO, 2010).

O problema da poluição sonora apresenta dimensões preocupantes em cidades de países em desenvolvimento nas quais são encontrados altos níveis de exposição sonora. As principais cidades da América Latina são alguns desses exemplos, as quais possuem no tráfego de veículos automotores a maior parcela de contribuição ao ruído ambiental (BERGLUND, LINDVALL e SCHWELA, 1999).

O aumento da frota de veículos juntamente com o crescimento desordenado das grandes cidades, tem intensificado os índices de ruído no ambiente urbano. Além disso, cabe notabilizar a existência de normas de avaliação/regulamentação de ruído como a NBR 10151 (ABNT, 2000), e a Resolução CONAMA N.001/90 (CONAMA, 1990), para orientar as ações de planejamento urbano.

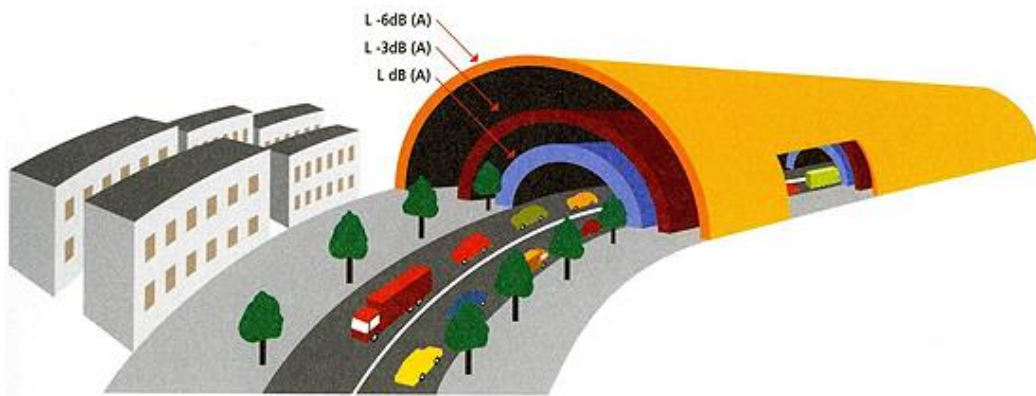
Em João Pessoa, em 2009 a frota era na ordem de 204 mil veículos; já em 2015 essa frota, em seis anos, aumentou aproximadamente, 62% totalizando 330 mil veículos, enquanto que o crescimento populacional, em seis anos, de 2010 para 2016 está estimado em, aproximadamente, 11% e população estimada em 801 mil habitantes, no mesmo ano, para João Pessoa (DENATRAN, 2009; DENATRAN, 2015; IBGE, 2010).

Apesar da importância das rodovias como instrumento de desenvolvimento, as preocupações com os impactos ambientais causados pelas mesmas e a incorporação desta variável nos projetos rodoviários só ocorreram no final da década de 1970 nos países desenvolvidos e no início da década de 1990 nos países da América Latina em geral e, em específico no Brasil e no Estado de São Paulo (WAY, 1977; GIL 1992).

O tráfego de veículos em rodovias é considerado uma fonte linear, isto é, uma fonte sonora estreita em uma direção e longa em outra, comparada à distância do ouvinte. O nível sonoro espalha-se cilíndricamente, de modo que o nível de pressão sonora é o mesmo em todos os pontos na mesma distância da linha (BRÜEL & KJAER, 2001).

O ruído de tráfego é a principal fonte de poluição sonora. Como regra geral, os veículos maiores e mais pesados emitem mais ruído que os veículos menores e mais leves (OMS, 2011). Ele é considerado uma fonte linear e, seguindo o modelo clássico de propagação do som para fontes em linhas, seu valor de ruído diminui em 3 dB(A) com o dobro da distância, Figura 2. (AVSAR e GONULLU, 2005).

Figura 2 – Esquema de uma fonte linear



Fonte: Câmara municipal de Almanara¹

Mehta et al. (1999), também afirma que em uma via de tráfego intenso, o campo acústico produzido pelos veículos pode ser assemelhado ao de uma fonte em linha, sofrendo uma redução de cerca de 3 decibels a cada vez que a distância para a via dobra.

Pimentel et al. (2007) diz que, neste sentido, o aumento da distância entre a via de tráfego e as edificações é um termo redutor do nível de ruído produzido. Outras correlações podem ser identificadas:

- O ruído cresce com o aumento da velocidade e do fluxo de veículos;
- O ruído produzido pelos ônibus e caminhões é maior do que o de automóveis;
- Desde que a velocidade seja mantida constante, o acréscimo na declividade da via aumenta o nível de ruído, pois aumenta a parcela de ruído produzida pelo motor.

As fontes de ruído de tráfego em rodovias podem ser divididas em duas categorias principais: ruído proveniente do motor e escapamento, atrito entre pneus e pavimento (TARRIO, 1992).

De acordo com a OMS (2011), o ruído de tráfego é gerado principalmente a partir do motor e do atrito entre o veículo, o solo e o ar. Grosso modo, o ruído do atrito entre o veículo, o solo e o ar excede o ruído do motor a velocidades superiores a 60 km/h. O nível de pressão sonora do

¹ - [Http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/AR/](http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/AR/)

ruído de tráfego pode ser previsto a partir o volume do tráfego, a velocidade dos veículos, a proporção dos veículos pesados, bem como a natureza da superfície da estrada.

Assim, medições do nível pressão sonora e o levantamento de parâmetros indiretos, como a contagem do fluxo de veículos, possibilitam indicadores quantitativos sobre a condição local de ruído. (ZANNIN e SANT'ANA, 2011).

Vários outros estudos realizados (SUÁREZ e PERES, 1998, DIAZ et al., 1998; SATO et al., 1999; SOMMERHOFF, RECUERO e SUÁREZ, 2004) indicam o ruído do tráfego de veículos automotores como o principal responsável pelos altos níveis de poluição sonora em áreas urbanas devido ao crescente número de veículos em circulação nas ruas e avenidas (ARRUDA et al., 2000).

Diante da problemática, investigações podem ser realizadas para quantificar, avaliar impactos e propor medidas para reduzir o nível de ruído provocado pelo tráfego de veículos, com vistas a minimizar os danos gerados, melhorar a saúde e a qualidade de vida da população. (MELO et al., 2010).

Os níveis de ruído podem ser obtidos por medidores de nível de pressão sonora ou estimados por modelos de previsão, de maneira a permitir comparações com os níveis de ruído admissíveis em terrenos adjuntos às vias urbanas e rodovias (FHWA, 2011; ONUU, 2000).

2.3. Barreiras acústicas no ambiente urbano

Marcelo (2006) comenta que a fim de melhorar ou, ao menos, manter a qualidade de vida das populações das cidades, são fundamentais medidas minimizadoras para os problemas consequentes do tráfego, como, por exemplo, o aumento do ruído urbano. Assim, ressalta Barreto (2004): “É neste âmbito que surge a necessidade de instalar barreiras acústicas”.

Pode-se entender barreira acústica como sendo uma infraestrutura compostas por material rígido, e com o objetivo de formar um obstáculo físico evitando a propagação das ondas sonoras entre uma fonte e um receptor. No entanto, da mesma forma que podem ser consideradas como um obstáculo ao som, na maioria das vezes, podem ser vistas como um obstáculo visual também. (BARBOSA, 2015).

De acordo com Balbo (1996), nem se cogitava considerar aspectos de controle de nível de ruído no planejamento e projeto de rodovias, mas atualmente estes aspectos são seriamente

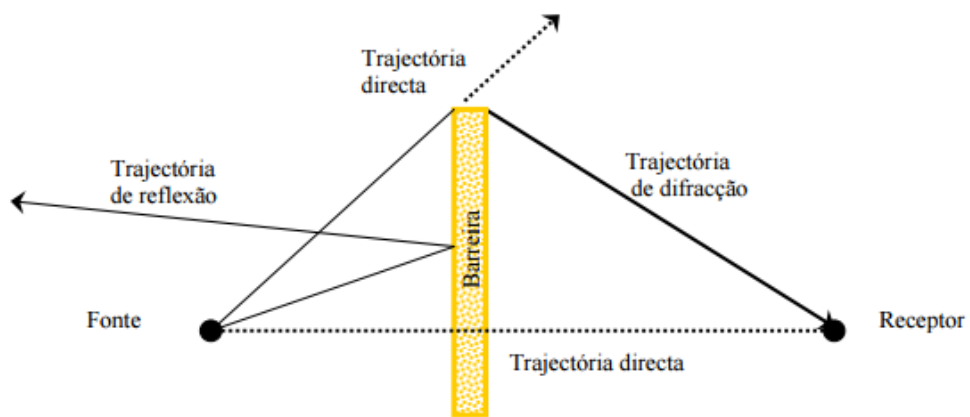
considerados em vários países europeus através do desenvolvimento, por exemplo, de barreiras laterais que absorvam parte do ruído.

Segundo Kang (2007), qualquer obstáculo sólido que impeça a linha de visão entre fonte sonora e receptor e crie uma zona de sombreamento na face oposta à geração do ruído pode ser considerado uma barreira acústica.

O princípio básico de funcionamento das barreiras acústicas é que se obstrua a linha de visão entre a fonte sonora e receptor e desta forma se interfira na trajetória das ondas sonoras. O próprio solo pode configurar-se como uma barreira acústica quando se elevar interferindo com a linha de visão. (BISTAFA, 2006).

A trajetória do som é interrompida com a colocação de um dispositivo de redução do ruído. Uma parte da energia sonora é refletida ou dispersada em direção à fonte, enquanto que outra parte é absorvida pelo material ou transmitida através da barreira, podendo ainda ser difratada pelo topo da barreira (Figura 3) (Harris, 1979). O ruído transmitido e refletido depende das propriedades do material que constitui o dispositivo, enquanto que o ruído difratado depende da sua localização e dimensão. As partes da energia sonora que afetam diretamente o receptor são a transmitida e a difratada.

Figura 3 – Onda sonora na presença de uma barreira acústica



Fonte: FREITAS, 2007

Sabe-se que o som que atinge o receptor é aquele que, a partir da fonte, posicionada na frente da barreira, atinge o topo desta, sendo então curvado por difração para baixo, gerando uma zona de sombra acústica atrás da barreira, ou seja, na face da barreira oposta à geração do ruído. (BISTAFA, 2006).

O desempenho de uma barreira varia em função de sua altura, de seu posicionamento entre a fonte sonora e o receptor, além das frequências sonoras em questão. A atenuação sonora se dá por conta do fenômeno da difração, formando uma região de sombra acústica que será maior para sons de altas frequências e quanto mais alta for a barreira. (GUEDES, 2005).

O desempenho da barreira pode variar também conforme a forma do seu topo, segundo Bistafa (2006), para barreiras com topo em forma de T, apresenta um acréscimo de atenuação que varia de 2 dB para uma saliência de 0,5 m até 4 dB para uma saliência de 2,5 m.

É possível atenuar os efeitos do ruído urbano com a construção de barreiras acústicas em locais estratégicos, para proteger áreas consideradas sensíveis a determinadas fontes de ruídos, como, por exemplo, áreas residenciais próximas a rodovias ou ferrovias. (MARCELO, 2006).

Barreiras acústicas urbanas são usadas na Inglaterra desde 1960. Nas principais rodovias, o método mais adotado inicialmente era elevações de terra com cercas de madeira, para inibir a transmissão do som e ao mesmo tempo contribuir para o visual, segundo Kotzen e English (1999).

No Brasil, a primeira barreira acústica (concreto) foi construída em 1999 na Rodovia dos Bandeirantes, no estado de São Paulo, com 200 metros de comprimento. (CHAVES, 2012). Chaves (2012) ainda comenta que com a instalação dessa barreira o nível de ruído, em um conjunto de edifícios próximo à Rodovia dos Bandeirantes, sofreu reduções da ordem de 8 dB a 10 dB. Em 2010, iniciou-se a instalação de uma barreira na Via Expressa Presidente João Goulart, no estado do Rio de Janeiro, com o objetivo de melhorar a privacidade acústica dos moradores próximos à via.

Barbosa (2015), comenta que a implantação de barreiras acústicas em rodovias brasileiras tem sido alvo na mídia de críticas e discussões políticas sobre a verdadeira função que elas deveriam exercer, além dos custos elevados que são direcionados para construí-las.

Arenas (2008) levanta algumas ponderações sobre a utilização de tais barreiras. Em questionários aplicados a residentes de áreas vizinhas à introdução de uma barreira, efeitos negativos tais como a redução de luz solar e o impacto visual causado pela barreira foram mencionados pela população.

Cavalcante et al. (2013) comenta, em seu artigo, que a cidade de João Pessoa é cortada por via de trânsito rápido e intenso, a BR-230, que atravessa região urbana e é margeada por bairros

residenciais. A solução adotada para tais cruzamentos foi utilizar uma passagem inferior para a BR-230. Esta solução permitiu o escoamento expresso do tráfego na rodovia. Por outro lado, observa-se no local a potencial efetividade desta solução na minimização do ruído nas residências vizinhas à rodovia, posto que os muros de contenção da passagem funcionam como barreiras acústicas.

A passagem inferior, além de ser uma solução minimizadora do ruído de tráfego ocasionado nesta via expressa, também não gera efeitos negativos com relação ao impacto visual causado pela barreira nas edificações residenciais circunvizinhas (Figura 4). Pois as edificações residenciais ficam em um plano diferente da via de trânsito rápido e, conseqüentemente, da barreira acústica, logo efeitos negativos, tais como redução de luz solar e ventilação, não se aplicam.

Figura 4 - Passagem inferior utilizada para o escoamento de via expressa



Fonte: Google Earth

2.4. Modelos de previsão de ruído

Ao realizar predições de ruído, seja por expressões matemáticas, nomogramas ou, em situações mais complexas utilizando-se programas computacionais, é preciso considerar nesses modelos alguns aspectos, quais sejam, o fluxo de veículos, características geométricas das vias, correções devido à declividade da pista, velocidade média real dos veículos, porcentagem de veículos pesados, dentre outros (NUNES e SANTOS, 1998).

Dentre os mais populares modelos estão, *Calculation of Road Traffic Noise* (CoRTN) - Reino Unido, *Federal Highway Administration* (FHWA) - Estados Unidos, *Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen* (RLS-90) - Alemanha, OAL (Áustria), *Statens Planverk 48* - Escandinávia, EMPA - Suíça e o ASJ – Japão, desenvolvidos e validados, sendo confiáveis por produzirem resultados de considerável precisão (LI et al., 2002).

Para este trabalho, utilizou-se o modelo CoRTN para a estimativa do ruído de tráfego.

Em geral, pode-se dizer que os modelos de predição acústica apresentam certas vantagens quando comparados aos procedimentos de medições sistemáticas de parâmetros acústicos, pois fornecem informações detalhadas das principais fontes sonoras, possibilidades de análises em maior número de pontos, não sofrem interrupções diante de condições meteorológicas adversas, permitem, ainda, a avaliação de situações hipotéticas, simples atualizações e demonstram uma menor sensibilidade aos efeitos do ruído de fundo (GUEDES, 2005).

Porém, esses modelos possuem também desvantagens, principalmente, em vista da necessidade de coleta de dados (acústicos e geométricos) e da dependência entre a precisão dos resultados com as habilidades acústicas e experiências em modelagem por parte do usuário (BRÜEL & KJÆR, 2001).

2.4.1. CoRTN

O CoRTN foi desenvolvido no Reino Unido e é caracterizado pelo uso extensivo de curvas de ajustes para dados empíricos. Neste modelo, segundo Steele (2001) considera-se fontes lineares de ruídos, e estudos realizados mostraram que o modelo possui erros menores para faixas maiores de ruído, ou seja, de 80 dB(A) a 85 dB(A). O modelo que fornece o L_{10} trabalha com velocidades constantes de tráfego e faz simplificações matemáticas para levar em consideração a atenuação devido as barreiras na propagação sonora.

Ele é utilizado como uma ferramenta para projetos de rodovias, bem como para a quantificação de despesas públicas com isolamentos acústicos. (CALIXTO, 2002).

Para a estimativa do ruído por este método, utiliza-se as expressões apresentadas pelo *Department of Transport* (HMSO, 1988). Tem-se, então, a equação abaixo, que estima o nível de ruído em propagação plana sem obstruções para uma distância de 13,5m entre a fonte sonora e o ponto de recepção:

$$L_{10} = 10 \log q + 33 \log \left(v + 40 + \frac{500}{v} \right) + 10 \log \left(1 + \frac{5p}{v} \right) - 26,6 \text{ (dB(A))}$$

Equação 3

Onde:

q = Fluxo de veículos em duas faixas de rodagem (veic/h),

v = velocidade média dos veículos (Km/h),

p = percentual de veículos pesados em relação ao tráfego total (%),

L_{10} = corresponde ao nível de ruído ultrapassado por 10% dos valores no intervalo de uma hora.

A Equação 4 faz uma correlação para a distância entre a origem da fonte e o ponto de recepção, já que na Equação 3 o cálculo fora realizado para uma distância de referência de 13,5m.

$$\Delta L = -10 \log \left(\frac{\sqrt{(d + 3,5)^2 + h^2}}{13,5} \right)$$

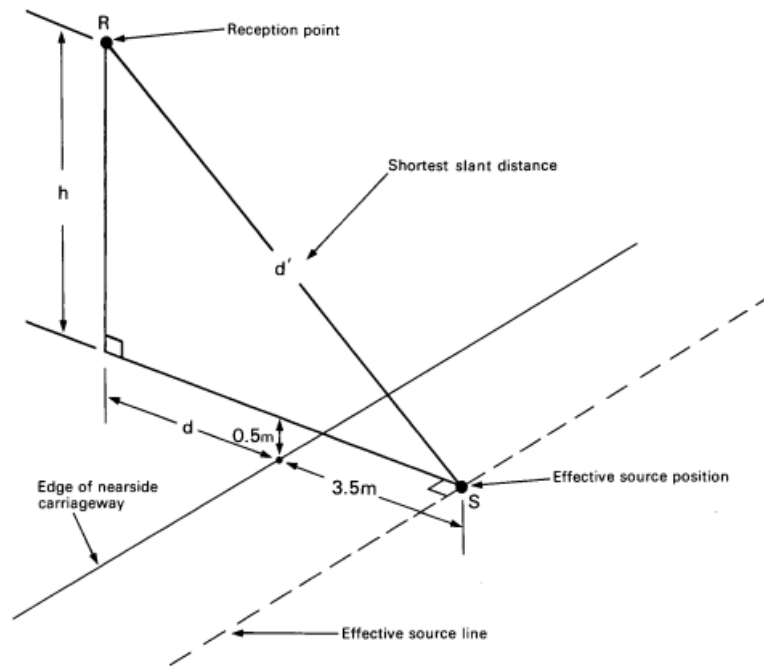
Equação 4

Onde:

d = é a distância entre o ponto de recepção e a borda da faixa de rolamento mais próxima,

h = é a altura entre o ponto de recepção em relação à altura da fonte sonora, o modelo considera que a mesma encontra-se a 0,5m do solo (Figura 5).

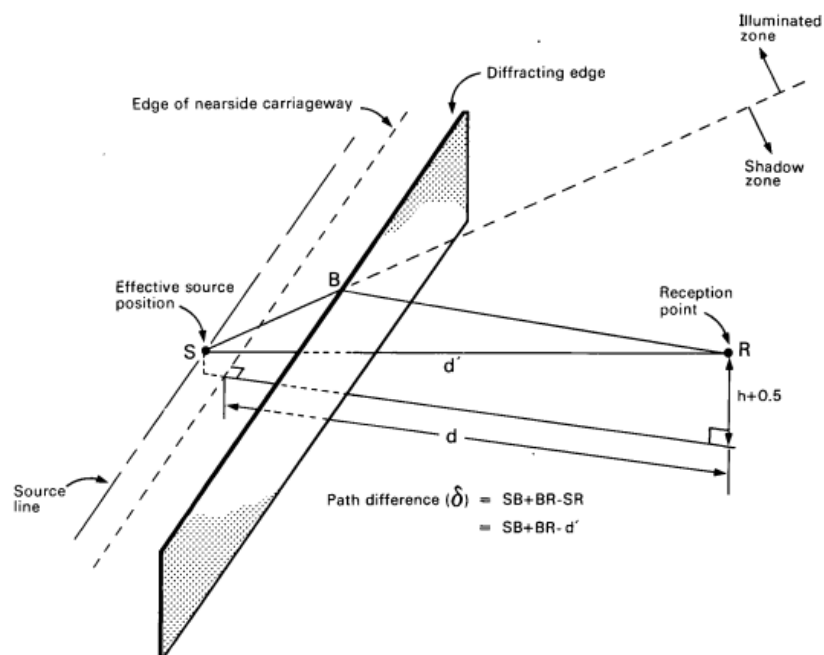
Figura 5 - Desenho explicativo da equação 4



Fonte: HMSO, 1988

A Equação 5 relaciona a diferença de percurso devido à uma obstrução, Figura 6 (ex.: barreira acústica).

Figura 6 – Diferença de percurso devido à uma obstrução



Fonte: HMSO, 1988

$$\delta = SB + BR - SR \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

SB = distância entre a fonte de ruído e a borda da barreira,

BR = distância entre a borda da barreira e o ponto de recepção,

SR = distância entre a fonte de ruído e o ponto de recepção.

Vale salientar que é necessário realizar uma correção que será feita de formas diferentes no caso de o ponto de recepção estar na zona iluminada, Equação 6 (onde há contato visual entre o ponto de recepção e a fonte de ruído) e na zona de sombra, Equação 7 (quando não há contato visual), Figura 7.

Zona iluminada:

$$\text{Correção}_{ZI} = 0,109x - 0,815x^2 + 0,479x^3 + 0,3284x^4 + 0,04385x^5 \quad \text{Equação 6}$$

Zona de sombra:

$$\begin{aligned} \text{Correção}_{ZS} = & -15,4 - 8,26x - 2,787x^2 - 0,831x^3 - 0,198x^4 \\ & + 0,1539x^5 + 0,12248x^6 + 0,02175x^7 \end{aligned} \quad \text{Equação 7}$$

Nas Equações 6 e 7 considerar:

$$x = \log \delta \quad \text{Equação 8}$$

Para a correção da reflexão da barreira oposta, tem-se:

$$\text{Correção}_{RF} = \{1,5 + (\Delta 2 - \Delta 3)[1 + \Delta 5(\Delta 1 - 1)]\}\Delta 4 \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

$\Delta 1$ é determinado a partir da altura do ponto de recepção e da altura da barreira de reflexão (Figura 7);

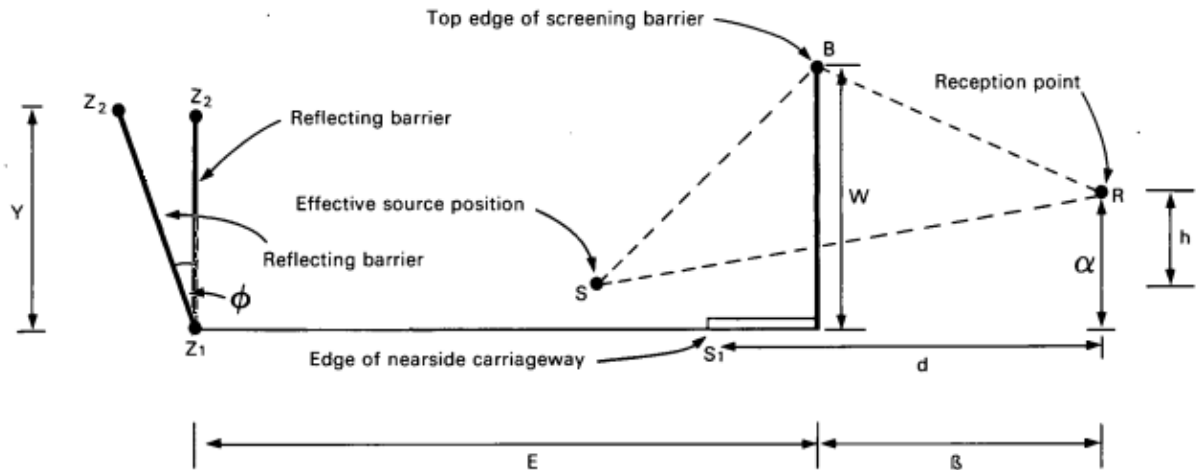
se $Y \geq W$ e $\alpha \geq W$, então $\Delta 1 = W$

se $Y \geq W$ e $\alpha < W$, então $\Delta 1 = \alpha$ e caso $\alpha < 1$, então $\Delta 1 = 1,00$

se $Y < W$ e $\alpha \geq Y$, então $\Delta 1 = Y$

se $Y < W$ e $\alpha < Y$, então $\Delta 1 = \alpha$ e caso $\alpha < 1$, então $\Delta 1 = 1,00$

Figura 7 - Geometria da barreira vertical, $\theta = 0^\circ$



Fonte: HMSO, 1988

Na Figura 7 tem-se que os parâmetros apresentados são:

Y = altura da barreira de reflexão do ruído,

S = a fonte do ruído,

E = Largura entre as barreiras,

B : borda superior da barreira mais próxima do receptor,

R : ponto de recepção,

W : altura da barreira de reflexão mais próxima do receptor,

d : distância horizontal entre a borda da faixa de rodagem s_1 mais próxima e o ponto de recepção;

h : distância vertical entre a fonte de ruído e o ponto de recepção,

α : altura do ponto de recepção em relação ao pavimento da passagem inferior,

β : distância horizontal entre o ponto de recepção e a borda superior da barreira,

z_1 - z_2 : barreira de reflexão do ruído.

Para determinar $\Delta 2$ e $\Delta 3$, tem-se:

$$\Delta 2 = [8,2 - 3 \log(\alpha + 10)] \cdot \log(\alpha + 10) - 5 \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

se $\alpha < 0$, então $\Delta 2 = 0,20$

se $\alpha \geq 30$, então $\Delta 2 = 0,44$

$$\Delta 3 = [1 - 0,6 \log\left(35 + \frac{\beta}{2}\right)] \cdot \log\left(35 + \frac{\beta}{2}\right) \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

se $\beta < 10$, então $\Delta 3 = +0,06$

se $\beta \geq 80$, então $\Delta 3 = -0,23$

Para obter o $\Delta 4$, tem-se que ele é determinado a partir da distância horizontal entre as barreiras de reflexão, então:

$$\Delta 4 = \log\left[1 + \left(\frac{270}{E}\right)\right] \quad \text{Equação 12}$$

Onde:

se $E < 30$, então $\Delta 4 = 1,00$

se $E \geq 70$, então $\Delta 4 = 0,69$

Por fim, $\Delta 5$ é determinado em função do ângulo θ , que é o ângulo entre a barreira e uma linha perpendicular ao solo. Como se está descrevendo o caso onde a barreira não é inclinada, tem-se $\theta = 0^\circ$.

$$\Delta 5 = e^{(-0,019\theta^2)} \quad \text{Equação 13}$$

Este modelo tem aplicabilidade para uma rodovia longa, linear, com fluxo livre e contínuo a uma certa distância do observador. (CALIXTO, 2002).

3. MÉTODO DE TRABALHO

3.1. Cidade de João Pessoa

João Pessoa, capital do estado da Paraíba (Figura 8), está localizado na região nordeste do Brasil. Foi fundada em 5 de agosto de 1585, possuindo atualmente 431 anos e é a terceira capital mais antiga do Brasil. É a quinta cidade mais populosa da região nordeste e a 14ª do Brasil. De acordo com o Censo demográfico de 2010, sua população era de 723.515 habitantes numa área de 211,475 Km² (0,3% da superfície do Estado). (IBGE, 2010).

O Município tem atualmente 64 bairros e possui 49,69 Km² de preservação ambiental. A altitude média em relação ao nível do mar é de 37m, com a máxima de 74m nas proximidades do rio Mumbaba. Está localizado na porção mais oriental da Paraíba, entre 08°07' de latitude sul e 341°52' de longitude oeste. Limita-se ao norte com o município de Cabedelo através rio Jaguaribe; ao sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e, a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbaba e Paraíba, respectivamente. (JOÃO PESSOA, 2004).

Figura 8 - Localização do município de João Pessoa em relação a região Nordeste do Brasil



O clima da cidade é do tipo mediterrâneo ou nordestino seco, com temperaturas médias anuais de 26° C. No litoral a média é de 28° C e na área do Planalto da Borborema 22° C. O Inverno inicia-se em março e termina em agosto. São duas estações climáticas, as chuvas ocorrem no período outono e inverno, e durante todo o resto do ano o clima é de muito sol. (JOÃO PESSOA, 2004)

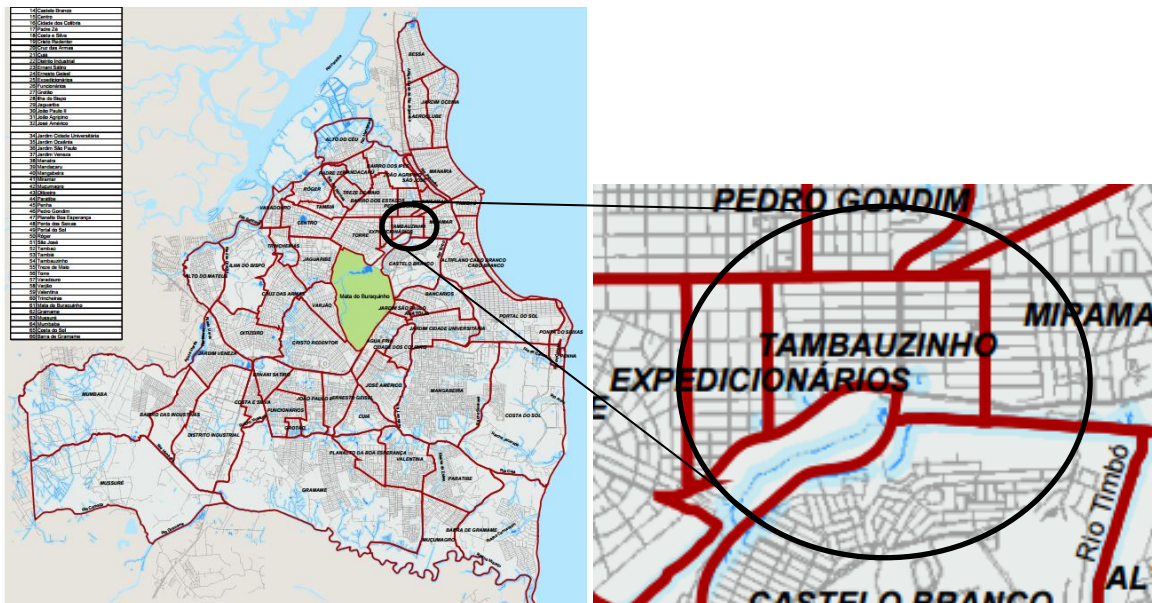
3.2. Região de Estudo: O Bairro Tambauzinho – João Pessoa (PB)

Tambauzinho é um bairro que se limita ao norte com o Bairro dos Estados e com o conjunto Pedro Gondim, a oeste com o bairro dos Expedicionários e a leste com o bairro de Miramar, Figura 9.

É um bairro caracteristicamente residencial, abrigando uma parte da população da classe média da cidade, ainda não tendo uma verticalização intensa. O bairro abriga o Espaço Cultural José Lins do Rego, um centro de convenções que é sede de importantes eventos ligados à vida cultural da cidade, e é cortado pela BR 230.

O preço do metro quadrado, segundo a SINDUSCON (2016) está em média R\$ 4.879,84, sendo o 10º bairro com o m² mais caro de João Pessoa, assim considerado um bairro nobre.

Figura 9 - Localização do bairro de Tambauzinho no município de João Pessoa



Fonte: JOÃO PESSOA, 2006

3.3. Materiais e Método

3.3.1. Caracterização da região de estudo

A avaliação do nível de pressão sonora do ruído de tráfego foi realizada na cidade de João Pessoa-PB, no bairro de Tambauzinho, nas ruas Rua Evaldo Wanderley e Rua José Clementino de Oliveira, em trecho no qual a área urbana é cortada pela BR-230, uma planta dos locais onde se situam os pontos de medição se encontra no Apêndice 03.

O mapa do Apêndice 03 foi confeccionado a partir dos mapas disponibilizados no site da Prefeitura de João Pessoa, intitulado JampaMapas, nele contém os locais finais onde foram realizadas todas as medições com suas respectivas cotas e numeração. A numeração se encontra algumas vezes fora de ordem pois a princípio existiam mais pontos a serem mensurados, porém devido a situações adversas (por exemplo: ficar localizado próximo de obras) eles foram retirados e optou-se por manter a numeração original.

Este local foi escolhido por possuir a BR-230 cortando o bairro Tambauzinho em um nível mais baixo, ou seja, como uma passagem inferior em desnível significativo com as áreas residenciais circunvizinhas (Figura 10).

Figura 10 - Fotos do local de estudo

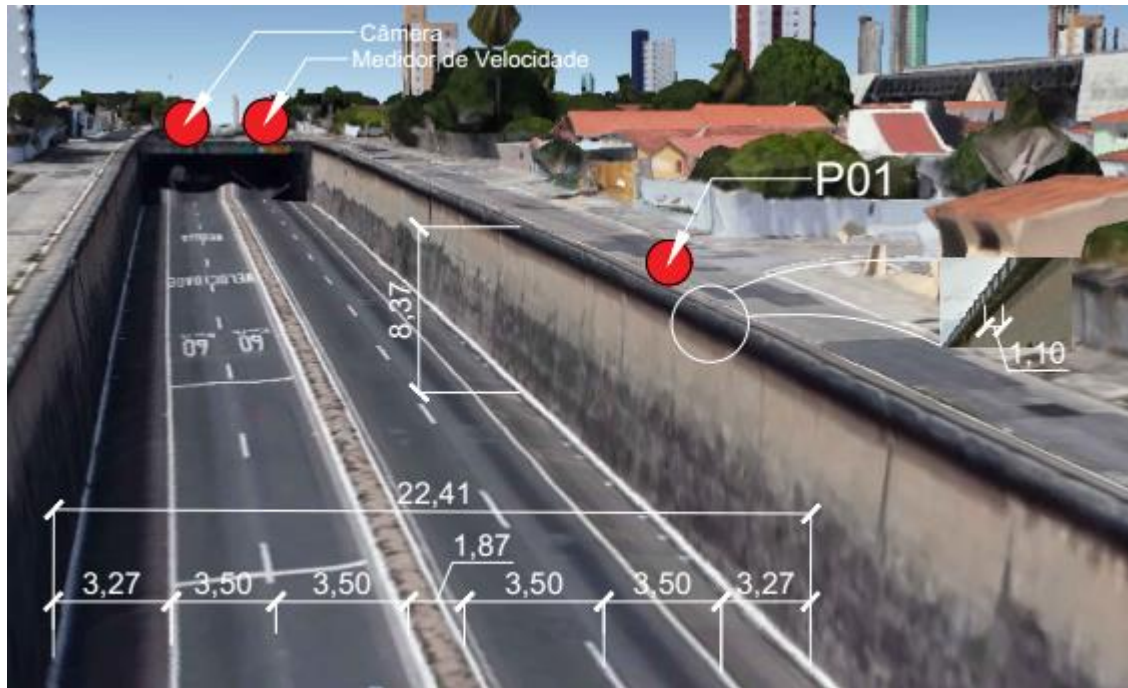


Fonte: Google Earth

A via expressa, citada anteriormente, é formada por quatro faixas de tráfego, sendo duas para cada sentido, que juntamente com os acostamentos laterais e canteiro central compreende uma largura de 22,41 metros. O desnível entre as faixas de rodagem da autoestrada e o nível das ruas, onde foram feitas as medições, é de 8,37 metros. Na Figura 11, observa-se o posicionamento do medidor de velocidade, da filmadora (Figura 12) e um dos pontos onde foi feito as medições, o P01 (Figura 13), também é possível observar as faixas de rodagem,

acostamentos, canteiros e as dimensões em metros de cada elemento da via. Durante as medições, não foi observada a presença de vento que viesse a alterar a propagação sonora.

Figura 11 - Desenho esquemático da área de estudo onde são mostradas medidas e alguns equipamentos de medição



Fonte: Google Earth adaptado

Figura 12 - Medidor de velocidade e filmadora no local de medição



Figura 13 – Equipamento que fica localizado no P01



3.3.2. Equipamentos Utilizados

Para medir o nível de ruído, foram utilizados decibelímetros digitais, que são medidores de nível de pressão sonora, sendo eles medidores Minipa classe 2 modelo MSL-1354, medidores Minipa classe 2 modelo 1352-C e medidor B&K classe 1 modelo 2250L (Figura 14).

Figura 14 – Decibelímetros de modelos MSL-1354, 1352-C e 2250L, respectivamente.



Fonte: Site das Fabricantes²³⁴

² - [Http://minipa.com.br/5/19/154-Minipa-Decibelímetros-MSL-1354](http://minipa.com.br/5/19/154-Minipa-Decibelímetros-MSL-1354)

³ - [Http://minipa.com.br/5/19/155-Minipa-Decibelímetros-MSL-1352C](http://minipa.com.br/5/19/155-Minipa-Decibelímetros-MSL-1352C)

⁴ - [Https://store.bksv.com/.../347-2250-l-with-initial-calibration](https://store.bksv.com/.../347-2250-l-with-initial-calibration)

Adicionalmente, para as estimativas do ruído utilizando expressões da literatura, foi necessário obter dados de tráfego como fluxo, composição e velocidade média dos veículos que circulavam na BR-230, para isso, utilizou-se um radar de velocidade portátil Bushnell (Velocity Speed Gun) e uma filmadora digital Sony modelo DCR-DVD610 (Figura 15 e 16).

Figura 15 - Medidor de velocidade



Fonte: Site do Fabricante⁵

Figura 16 - Filmadora Sony



Fonte: Site da Fabricante⁶

⁵ - [Http://bushnell.com/all-products/outdoor-technology/velocity-speed-gun](http://bushnell.com/all-products/outdoor-technology/velocity-speed-gun)

⁶ - [Https://esupport.sony.com/BR/p/model-home.pl?mdl=DCRDVD610](https://esupport.sony.com/BR/p/model-home.pl?mdl=DCRDVD610)

Além desses equipamentos, também foram utilizados, tripés para acoplar os equipamentos; trenas de 3m e 50m para medir a altura dos tripés e medir as distâncias entre um equipamento e outro para colocá-los; trena eletrônica, para mensurar a altura do talude da passagem inferior; fichas para preenchimento das medições; pranchetas; fita adesiva.

3.3.3. Procedimento de coleta de dados

3.3.3.1. Medições do nível de pressão sonora

Para a realização do procedimento de medições do nível de ruído foram escolhidos alguns pontos (conforme o Apêndice 03), que posteriormente foram alterados, adicionados ou excluídos conforme as medições iam sendo feitas.

Como não possuía disponibilidade de equipamento para medir simultaneamente os 14 pontos, optou-se por escolher alguns dias da semana e um turno (terça ou quinta pela manhã) para que todas as medições possuíssem uma constância. Esses dias foram escolhidos a partir da disponibilidade dos professores, que acompanhariam a medição, e por serem dias onde o tráfego é parecido.

Foram necessários quatro dias para concluir as medições e elas se procederam da seguinte maneira: O ponto P01 foi um ponto fixo, ou seja, ele foi medido em todos os dias, ele foi um ponto de referência visto que não foi possível medir simultaneamente todos os pontos, ele foi usado para relacionar os pontos medidos em dias diferentes e calculá-los de maneira que parecesse que eles fossem medidos no mesmo dia.

Enquanto o P01 era fixo os outros pontos eram medidos apenas uma vez e nunca eram repetidos, foram medidos três outros pontos por dia de medição com exceção do 4º dia onde foram medidos quatro pontos.

Para a medição do nível de ruído os decibelímetros eram acoplados nos tripés (Figura 17) a uma altura padrão estipulada em 1,30m e eles eram levemente inclinados para cima.

Figura 17 - Decibelímetros nos tripés



Eles eram alocados, conforme o ponto que seria medido no dia, como mostrado no Apêndice 03, e sempre era observado se eles ficavam a uma distância de 2,00 de muros e se não estavam sob árvores ou qualquer outro tipo de obstrução.

As medições eram realizadas num período de uma hora, porém devido à dificuldade de permanecer anotando dados durante uma hora e em silêncio tanto por parte de quem coletava os dados quanto por parte de animais na vizinhança e curiosos que passavam no local, optou-se por realizar o procedimento de coleta de dados durante cinco minutos e com um intervalo de 10 minutos para descanso, tudo isso durante uma hora, logo foram feitas quatro coletas de cinco minutos durante as uma hora.

A ficha para a coleta de dados de ruído é mostrada na Apêndice 01 e foi solicitado aos voluntários que coletassem os dados de maneira ininterrupta, durante os cinco minutos, porém sempre observando se há a presença de sons de outra origem se não os provenientes da BR-230, se houvessem esses sons era recomendado que cessassem a coleta de dados até que a situação se normalizasse, pois, o estudo é apenas sobre o ruído advindo da BR-230.

Por fim obtém-se a média desses valores para cada ponto, essa média é calculada segundo a Equação 2.

3.3.3.2. Dados do tráfego

Os dados provenientes do tráfego como: volume do tráfego, composição e velocidade dos veículos, foram coletados com os equipamentos elencados no item 3.3.2.

Para a obtenção dos dados do volume do tráfego foi realizado, simultaneamente com as medições de nível de ruído, uma filmagem durante uma hora das quatro faixas de rodagem da BR-230; a câmera foi alocada em um viaduto próximo aos locais de medição e sua localização pode ser observada na Figura 11. Na Figura 18 tem-se uma captura de tela de uma das filmagens feitas.

Figura 18 - Captura de tela da filmagem realizada no dia 08 de novembro de 2016



A partir das imagens capturadas na filmagem foram realizadas a contagem do tráfego para cada faixa e para cada tipo de veículo, separando os veículos em automóveis, motocicletas e veículos pesados.

Para obtenção dos dados de velocidade, também foi realizado simultaneamente com as medições de nível de ruído, era utilizado o radar para capturar a velocidade dos veículos, o procedimento consistiu em ficar cinco minutos em cada faixa, durante uma hora e tentar capturar a velocidade do maior número possível de veículos de cada tipo (a ficha de medição de velocidade pode ser vista no Apêndice 02), cada faixa era medida mais de uma vez, e os veículos foram medidos de frente.

O procedimento correto para a medição de velocidade com esse radar é de capturar a velocidade estando de frente e no mesmo nível do veículo. Como não era possível estar no mesmo nível do veículo, procedeu-se com a medição no viaduto que a ficava acima do nível dos veículos e então fez-se uma correção da velocidade.

Para a correção da velocidade realizou-se um procedimento que consistia em utilizar um carro para passar no mesmo local das medições de velocidade com uma velocidade previamente estipulada (por exemplo, 50 Km/h) e observar qual o valor seria mostrado no visor do radar de velocidade, a partir desses dados fazer uma correlação entre a velocidade medida e a velocidade real, por fim, achou-se que a velocidade corrigida (próxima do real) é igual a velocidade medida dividido por 0,89 (Equação 14).

$$V_{corrigida} = \frac{V_{Medida}}{0,89} \quad \text{Equação 14}$$

3.3.3.3.Dados geométricos

Os dados geométricos: largura das vias e acostamentos da BR-230 e das ruas de medição do nível do ruído, calçadas, altura do talude, entre outros, foram coletados no local com o auxílio de trenas e algumas informações também foram coletadas a partir dos mapas disponibilizados pela Prefeitura de João Pessoa.

3.3.4. Procedimentos para estimativas do nível de ruído

A partir das equações elencadas no item 2.4.1 foi possível calcular o ruído estimado, com e sem barreira acústica, segundo a utilização do seguinte esquema de cálculo:

- I. Primeiramente calcula-se a previsão do ruído sem barreira acústica.
 - a. Calcula-se a composição do tráfego e calcula-se a velocidade média ponderada em relação a composição de cada veículo.
 - b. O cálculo será feito juntando as duas faixas de mesmo sentido, ou seja, faixa 1+2 e faixa 3+4.
 - c. Utilizando a Equação 3, calcula-se a estimativa do nível do ruído em propagação plana sem obstruções, calculando o L_{10} para uma distância de referência, estipulada pelo HMSO (1988) de 13,5m do ponto de recepção até a fonte sonora. Faz-se o cálculo com os dados de cada dia de medição para o fluxo de veículos, velocidade média e percentual de veículos pesados.
 - d. Faz-se, então, uma correção, que será adicionada na Equação 3, para a verdadeira distância entre a fonte de ruído e o ponto de recepção, utilizando a Equação 4, já que anteriormente o ruído foi calculado para uma distância de 13,5m. Na Equação 4 considera-se d a distâncias entre o ponto de recepção até

a borda da faixa de rolamento mais próxima (para a faixa 1 e 2 é a soma do acostamento mais a distância entre P01 e o ponto calculado e para faixa 3 e 4 é a soma do acostamento, duas faixas de rodagem e o canteiro central mais a distância entre P01 e o ponto calculado) e **h** a altura entre o ponto de recepção (1,30m até o solo) até a fonte sonora (a fonte sonora é considerada que está a 0,5m do solo) como se estivessem no mesmo nível.

- e. De posse o L_{10} , sem obstrução, para cada ponto medido procede-se para a conversão de L_{10} para LA_{eq} . Essa conversão foi feita com base nas medições realizadas em campo onde foi possível calcular o L_{10} e o LA_{eq} para cada ponto e então realizar uma relação entre eles, para cada dia e para cada ponto encontrou-se uma relação diferente e ela pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação entre LA_{eq} e L_{10} para cara ponto medido por dia

LA_{eq}/L_{10}			
27/set		01/nov	
P01	0.9753	P01	0.9775
P02	0.9553	P13	0.9727
P03	0.9510	P14	0.9614
P04	0.9291	P07A	0.9659
06/out		08/nov	
P01	0.9745	P01	0.9785
P01A	0.9647	P07	0.9670
P05	0.9365	P08	0.9670
P06	0.9412	P09	0.9537
		P10	0.9692

- II. Em seguida, calcula-se a previsão do ruído com barreira acústica.
- Inicialmente é necessário refazer o cálculo do passo I.a, I.b, I.c. e I.d., porém o **h** será alterado para considerar que a fonte sonora e o ponto de recepção estão em níveis diferentes, logo, somou-se ao **h** a altura da barreira acústica de 8,37m.
 - A partir da Equação 5 e dos cálculos os parâmetros SB, BR, SR., calcula-se a diferença de percurso devido uma obstrução δ .
 - É necessário realizar uma correção nos valores de acordo com a localização do ponto de recepção, ou seja, deve-se observar se o ponto de recepção está em uma zona iluminada ou em uma zona de sombra (Figura 6), e utilizando as Equações 6, 7 e 8. Após esse procedimento, tem-se a parcela de redução do ruído devido a difração da primeira barreira (a mais próxima do ponto de recepção).

- d. Posteriormente, é realizada a correção devido a reflexão da segunda barreira. Para isso foi necessário definir alguns parâmetros presentes na figura 7:

$$W = Y = 8,37 \text{ m}$$

$$E = 22,41 \text{ m}$$

$$\alpha = 8,37 + 1,30 = 9,67 \text{ m}$$

h = O mesmo definido no item II.a.

d = O mesmo definido no item I.d.

β = Pode ser observado no Apêndice 03, para cada ponto

$$\Theta = 0$$

- e. Calcula-se o $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$ e $\Delta 4$ e em seguida faz-se a correção devido a reflexão a partir da Equação 9.
- f. Soma-se a parcela da correção devido a difração da primeira barreira, a parcela da correção devido a reflexão da segunda barreira com o ruído previsto, L_{10} , sem barreira encontrado no item I. e obtém-se a previsão do ruído com barreira acústica.
- g. De posse o L_{10} , com obstrução, para cada ponto medido procede-se para a conversão de L_{10} para LA_{eq} . Essa conversão pode ser observada na Tabela 1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Por meio das medições do ruído para os 14 pontos (ver Apêndice 03), foram obtidos os valores de pressão sonora, para cada uma das quatro medições no intervalo de uma hora, sendo prontamente calculado o nível de pressão sonora equivalente (utilizando a Equação 2), especificados nas Tabelas 2 a 5 e separados por dia, estando os pontos identificados pelo seu respectivo número e pelo equipamento utilizado.

Tabela 2 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 27/09

Dia 27/09/2016 – dB(A)				
Medições dB(A)	B&K (P01)	Minipa (P02)	Minipa (P03)	Minipa (P04)
1° Medição (iniciando 08:45 h)	77.80	63.44	59.05	53.69
2° Medição (iniciando 09:00 h)	77.80	61.98	58.47	52.85
3° Medição (iniciando 09:15 h)	78.10	62.55	59.22	51.91
4° Medição (iniciando 09:30 h)	77.70	62.51	58.30	52.19
L_{Aeq} (1h)	77.9	62.6	58.8	52.7

Tabela 3 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 06/10

Dia 06/10/2016 – dB(A)				
Medições dB(A)	B&K (P01)	Minipa (P01A)	Minipa (P05)	Minipa (P06)
1° Medição (iniciando 08:45 h)	78.20	65.24	49.10	50.27
2° Medição (iniciando 09:00 h)	79.10	64.51	49.31	48.67
3° Medição (iniciando 09:15 h)	78.00	65.51	48.62	50.07
4° Medição (iniciando 09:30 h)	77.30	64.73	47.71	49.64
L_{Aeq} (1h)	78.2	65.0	48.7	49.7

Tabela 4 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 01/11

Dia 01/11/2016				
Medições dB(A)	B&K (P01)	Minipa (P13)	Minipa (P14)	Minipa (P07A)
1° Medição (iniciando 08:40 h)	78.20	67.96	68.55	64.99
2° Medição (iniciando 08:55 h)	78.30	68.25	68.60	65.48
3° Medição (iniciando 09:10 h)	77.70	67.82	67.51	64.35
4° Medição (iniciando 09:25 h)	78.40	68.07	68.24	64.98
L_{Aeq} (1h)	78.2	68.0	68.2	65.0

Tabela 5 - Nível de pressão sonora equivalente para os pontos medidos no dia 08/11

Dia 08/11/2016 – dB(A)					
Medições dB(A)	B&K (P01)	Minipa (P07)	Minipa (P08)	Minipa (P09)	Minipa (P10)
1º Medição (iniciando 08:20 h)	78.50	78.77	64.39	58.60	52.74
2º Medição (iniciando 08:35 h)	78.80	78.89	64.40	58.24	51.77
3º Medição (iniciando 08:50 h)	78.50	78.78	64.50	57.88	51.72
4º Medição (iniciando 09:05 h)	78.00	78.34	63.48	58.06	51.21
LAeq (1h)	78.5	78.7	64.2	58.2	51.9

Concomitantemente à medição de ruído, foram obtidos dados de tráfego como composição, velocidade e fluxo de veículos.; os dados estão apresentados nas Tabelas 6 a 9.

Tabela 6 – Dados do tráfego no dia 27/09

Categoria	Dia 27/09/2016											
	Faixa 1			Faixa 2			Faixa 3			Faixa 4		
	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc
Automóvel	609	57.5%	69.33	1219	82.2%	67.3	1280	89.4%	80.64	806	73.4%	69.99
Motocicleta	327	30.8%	72.1	203	13.7%	78.28	86	6.0%	80.64	183	16.7%	69.79
Veículo pesado	124	11.7%	56.11	61	4.1%	51.12	66	4.6%	73.26	109	9.9%	66.29
Total	1060	100.0%	-	1483	100.0%	-	1432	100.0%	-	1098	100.0%	-
Média (km/h)	-	-	68.64	-	-	68.14	-	-	80.30	-	-	69.59

Tabela 7 - Dados do tráfego no dia 06/10

Categoria	Dia 06/10/2016											
	Faixa 1			Faixa 2			Faixa 3			Faixa 4		
	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc
Automóvel	591	58.6%	65.25	1138	83.1%	72.50	1299	90.6	76.25	795	74.2%	69.89
Motocicleta	329	32.6%	70.49	186	13.6%	75.56	99	6.9	81.51	179	16.7%	68.45
Veículo pesado	89	8.8%	51.31	45	3.3%	65.59	36	2.5	80.62	98	9.1%	63.70
Total	1009	100.0%	-	1369	100.0%	-	1434	100.0%	-	1072	100.0%	-
Média (km/h)	-	-	65.73	-	-	72.69	-	-	76.72	-	-	69.08

Tabela 8 - Dados do tráfego no dia 01/11

Categoria	Dia 01/11/2016											
	Faixa 1			Faixa 2			Faixa 3			Faixa 4		
	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc
Automóvel	548	57.4%	65.79	1185	83.6%	75.39	1330	89.9%	84.50	822	72.9%	71.93
Motocicleta	309	32.4%	68.71	180	12.7%	78.33	98	6.6%	80.02	199	17.7%	72.82
Veículo Pesado	98	10.3%	61.80	53	3.7%	67.17	51	3.4%	79.21	106	9.4%	65.92
Total	955	100.0%	-	1418	100.0%	-	1479	100.0%	-	1127	100.0%	-
Média (km/h)	-		66.33	-		75.46	-		84.02	-		71.52

Tabela 9 - Dados do tráfego no dia 08/11

Categoria	Dia 08/11/2016											
	Faixa 1			Faixa 2			Faixa 3			Faixa 4		
	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc	qnt	%	Veloc
Automóvel	570	54.7%	67.21	1197	82.8%	77.28	1484	91.8%	78.75	841	74.3%	69.27
Motocicleta	375	36.0%	71.55	212	14.7%	72.57	100	6.2%	81.04	188	16.6%	70.55
Veículo pesado	98	9.4%	45.01	36	2.5%	70.60	32	2.0%	81.18	103	9.1%	66.61
Total	1043	100.0%	-	1445	100.0%	-	1616	100.0%	-	1132	100.0%	-
Média (km/h)	-		66.68	-		76.42	-		78.94	-		69.24

A partir dos dados de tráfego apresentados, que foram obtidos no intervalo de uma hora, estimou-se o nível de pressão sonora L_{10} , seguindo o passo a passo apresentado no item 3.3.4. Para a realização das estimativas do CoRTN é necessário considerar o tráfego para duas faixas de rodagem e então foram calculadas as velocidades médias ponderadas dos veículos em relação ao fluxo total nas duas faixas. Primeiramente, foi realizado o cálculo da estimativa de ruído desconsiderando o efeito da passagem inferior e, em seguida, considerando a obstrução da barreira mais próxima e a reflexão da barreira mais afastada.

Utilizando a Equação 3, calcula-se a estimativa do nível do ruído em propagação plana sem obstruções, para todos os pontos, calculando o L_{10} para uma distância de referência de 13,5m do ponto de recepção até a fonte sonora. Nas Tabelas de 10 a 13 pode-se observar as variáveis de cálculo e seus resultados.

Tabela 10 - Cálculo do L_{10} , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 27/09

Dia 27/09/2016		
Variáveis	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
q = fluxo de veículos	2543	2530
v = velocidade média dos veículos (km/h)	68.35	75.65
p = percentual de veículos pesados em relação ao fluxo total (%)	7.27%	6.92%
L10(1h) dB(A)	77.39	77.95

Tabela 11 - Cálculo do L_{10} , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 06/10

Dia 06/10/2016		
Variáveis	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
q = fluxo de veículos	2378	2506
v = velocidade média dos veículos (km/h)	69.74	73.46
p = percentual de veículos pesados em relação ao fluxo total (%)	5.63%	5.35%
L10(1h) dB(A)	76.87	77.38

Tabela 12 - Cálculo do L_{10} , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 01/11

Dia 01/11/2016		
Variáveis	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
q = fluxo de veículos	2373	2606
v = velocidade média dos veículos (km/h)	71.78	78.62
p = percentual de veículos pesados em relação ao fluxo total (%)	6.36%	6.02
L10(1h) dB(A)	77.21	78.16

Tabela 13 - Cálculo do L_{10} , considerando a distância entre a fonte e o receptor de 13,5 metros no dia 08/11

Dia 08/11/2016		
Variáveis	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
q = fluxo de veículos	2488	2748
v = velocidade média dos veículos (km/h)	72.34	74.94
p = percentual de veículos pesados em relação ao fluxo total (%)	5.39%	4.91%
L10(1h) dB(A)	77.26	77.83

Faz-se, então, uma correção que será adicionada na Equação 3, para a verdadeira distância entre a fonte de ruído e o ponto de recepção, utilizando a Equação 4. De posse o L_{10} , sem obstrução, para cada ponto medido procede-se para a conversão de L_{10} para LA_{eq} . Essa conversão foi feita de acordo com a relação apresentada na Tabela 1. Nas Tabelas de 14 a 17 pode-se observar as variáveis de cálculo e o resultado final do LA_{eq} para cada ponto, simulando uma situação onde não existe a passagem inferior.

Tabela 14 - Cálculo do LA_{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 27/09

Dia 27/09/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P02 - Minipa		P03 - Minipa		P04 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção (m)	3.27	12.14	17.27	26.14	31.27	40.14	63.97	72.84
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor (m)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Correção dB(A)	2.967	-0.645	-1.874	-3.417	-4.110	-5.096	-6.988	-7.524
L10 (1h) parcial dB(A)	80.3593	77.3021	75.5177	74.5297	73.2821	72.8505	70.4038	70.4223
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	79.0943		75.0517		73.0716		70.4131	
LA _{eq} previsto dB(A)	77.1		71.7		69.5		65.4	

Tabela 15 - Cálculo do LA_{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 06/10

Dia 06/10/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P01A - Minipa		P05 - Minipa		P06 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção (m)	3.27	12.14	13.27	22.14	115.27	124.14	231.17	240.04
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor (m)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Correção dB(A)	2.967	-0.645	-0.947	-2.788	-9.444	-9.757	-12.401	-12.562
L10 (1h) parcial dB(A)	79.8418	76.7374	75.9275	74.5941	67.4306	67.6255	64.4732	64.8197
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	78.5612		75.3118		67.5291		64.6499	
LA _{eq} previsto dB(A)	76.6		72.7		63.2		60.8	

Tabela 16 - Cálculo do LA_{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 01/11

Dia 01/11/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P13 - Minipa		P14 - Minipa		P07A - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção (m)	3.27	12.14	10.27	19.14	10.27	19.14	13.27	22.14
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor (m)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Correção dB(A)	2.967	-0.645	-0.093	-2.248	-0.093	-2.248	-0.947	-2.788
L10 (1h) parcial dB(A)	80.1762	77.5190	77.1156	75.9156	77.1156	75.9156	76.2620	75.3758
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	79.0478		76.5569		76.5569		75.8414	
LAeq previsto dB(A)	77.3		74.5		73.6		73.3	

Tabela 17 - Cálculo do LA_{eq} previsto desconsiderando a existência da passagem inferior no dia 08/11

Dia 08/11/2016										
Variáveis	P01 - B&K		P07 - Minipa		P08 - Minipa		P09 - Minipa		P10 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção (m)	3.27	12.14	3.27	12.14	17.27	26.14	31.27	40.14	63.27	72.14
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor (m)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Correção dB(A)	2.967	-0.645	2.967	-0.645	-1.874	-3.417	-4.110	-5.096	-6.934	-7.484
L10 (1h) parcial dB(A)	80.2236	77.1813	80.2236	77.1813	75.3820	74.4090	73.1464	72.7298	70.3134	70.3416
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	78.9636		78.9636		74.9227		72.9431		70.3276	
LAeq previsto dB(A)	77.3		76.4		72.5		69.6		68.2	

Em seguida, calcula-se a previsão do ruído com barreira acústica. Inicialmente é necessário refazer o cálculo do L_{10} , porém o h será alterado para considerar que a fonte sonora e o ponto de recepção estão em níveis diferentes, logo, somou-se ao h a altura da barreira acústica de 8,37m. A partir da Equação 5, calcula-se a diferença de percurso devido uma obstrução δ . É necessário realizar uma correção nos valores de acordo com a localização do ponto de recepção, logo, deve-se observar se o ponto de recepção está em uma zona iluminada (P01 e P07) ou em uma zona de sombra (todos os outros pontos), utilizando as Equações 6, 7 e 8. Após esse procedimento, tem-se a parcela de redução do ruído devido a difração da primeira barreira. Nas Tabelas de 18 a 21 pode-se observar as variáveis de cálculo e o resultado final do LA_{eq} para cada ponto apenas considerando a difração da primeira barreira.

Tabela 18 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 27/09.

Dia 27/09/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P02 - Minipa		P03 - Minipa		P04 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção (m)	3.27	12.14	17.27	26.14	31.27	40.14	63.97	72.84
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor (m)	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
δ	0.282899	0.6784253	1.7372268	0.5426031	2.4524953	0.9455997	3.0048365	1.3336086
$x = \log(\delta)$	-0.548369	-0.168498	0.2398565	-0.265518	0.3896082	-0.024293	0.4778209	0.1250284
Correção Difração dB(A)	-0.356	-0.044	-17.554	-13.389	-19.093	-15.201	-20.079	-16.478
L10 (1h) parcial dB(A)	80.00	77.26	57.96	61.14	54.19	57.65	50.33	53.94
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	78.84		59.84		56.26		52.50	
LAeq previsto dB(A)	76.9		57.2		53.5		48.8	

Tabela 19 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 06/10.

Dia 06/10/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P01A - Minipa		P05 - Minipa		P06 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção (m)	3.27	12.14	13.27	22.14	115.27	124.14	231.17	240.04
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor (m)	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
δ	0.282899	0.6784253	1.3519762	0.3621453	3.2652949	1.547039	3.4358354	1.6995995
$x = \log(\delta)$	-0.548369	-0.168498	0.130969	-0.441117	0.5139224	0.1895013	0.5360323	0.2303466
Correção Difração dB(A)	-0.356	-0.044	-16.532	-12.237	-20.500	-17.071	-20.763	-17.461
L10 (1h) parcial dB(A)	79.49	76.69	59.40	62.36	46.93	50.55	43.71	47.36
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	78.3102		61.1245		49.1100		45.9068	
LAeq previsto dB(A)	76.3		59.0		46.0		43.2	

Tabela 20 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 01/11.

Dia 01/11/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P13 - Minipa		P14 - Minipa		P07A - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção	3.27	12.14	10.27	19.14	10.27	19.14	13.27	22.14
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
δ	0.282899	0.6784253	0.956979	0.2015663	0.956979	0.2015663	1.3519762	0.3621453
$x = \log(\delta)$	-0.548369	-0.168498	-0.019098	-0.695582	-0.019098	-0.695582	0.130969	-0.441117
Correção Difração dB(A)	-0.356	-0.044	-15.243	-10.783	-15.243	-10.783	-16.532	-12.237
L10 (1h) parcial	79.82	77.48	61.87	65.13	61.87	65.13	59.73	63.14
L10 (1h) para as duas faixas	78.8040		63.8018		63.8018		61.7610	
L _{Aeq} previsto	77.0		62.1		61.3		59.7	

Tabela 21 – Cálculo da estimativa do ruído apenas considerando a difração da primeira barreira no dia 08/11.

Dia 08/11/2016										
Variáveis	P01 - B&K		P07 - Minipa		P08 - Minipa		P09 - Minipa		P10 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
d = distância entre a fonte e o ponto de recepção (m)	3.27	12.14	3.27	12.14	17.27	26.14	31.27	40.14	63.27	72.14
h = diferença da altura entre a fonte e o receptor (m)	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
δ	0.282899	0.6784253	0.282899	0.6784253	1.7372268	0.5426031	2.4524953	0.9455997	2.99856	1.32873
$x = \log(\delta)$	-0.548369	-0.168498	-0.548369	-0.168498	0.2398565	-0.265518	0.3896082	-0.024293	0.47691	0.12344
Correção Difrac. dB(A)	-0.356	-0.044	-0.356	-0.044	-17.554	-13.389	-19.093	-15.201	-20.068	-16.464
L10 (1h) parcial dB(A)	79.87	77.14	79.87	77.14	57.83	61.02	54.05	57.53	50.25	53.88
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	78.7135		78.7135		59.7111		56.1298		52.4308	
L _{Aeq} previsto dB(A)	77.0		76.1		57.7		53.5		50.8	

Por fim, foi realizada a correção devido a reflexão da segunda barreira; calcula-se o $\Delta 1$, $\Delta 2$, $\Delta 3$, $\Delta 4$ e $\Delta 5$ e em seguida faz a correção devido a reflexão a partir da Equação 9; soma-se a parcela da correção devido a difração da primeira barreira, a parcela da correção devido a reflexão da segunda barreira com o ruído previsto sem barreira e obtém-se a previsão do ruído com barreira acústica. De posse o L_{10} , com obstrução, para cada ponto medido procede-se para a conversão de L_{10} para LA_{eq} . Nas Tabelas 22 a 25 pode-se observar as variáveis de cálculo e o resultado final do LA_{eq} para cada ponto considerando a difração da barreira mais próxima e a reflexão da barreira oposta.

Tabela 22 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 27/09

Dia 27/09/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P02 - Minipa		P03 - Minipa		P04 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
W = Y	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
E	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41
α	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67
h	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
d	3.27	12.14	17.27	26.14	31.27	40.14	63.97	72.84
β	0	0	14	14	28	28	60.7	60.7
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta 1$	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
$\Delta 2$	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066
$\Delta 3$	0.1135804	0.1135804	0.0422863	0.0422863	-0.023862	-0.023862	-0.161824	-0.161824
$\Delta 4$	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504
$\Delta 5$	1	1	1	1	1	1	1	1
Reflexão	6.0975151	6.0975151	6.7631987	6.7631987	7.3808322	7.3808322	8.669012	8.669012
L10 (1h) parcial dB(A)	86.10	83.36	64.73	67.90	61.57	65.03	58.99	62.61
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	84.94		66.60		63.64		61.17	
LAeq previsto dB(A)	82.8		63.6		60.5		56.8	

Tabela 23 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 06/10

Dia 06/10/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P01A - Minipa		P05 - Minipa		P06 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
W = Y	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
E	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41
α	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67
h	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
d	3.27	12.14	13.27	22.14	115.27	124.14	231.17	240.04
β	0	0	10	10	112	112	227.9	227.9
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta 1$	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
$\Delta 2$	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066
$\Delta 3$	0.1135804	0.1135804	0.0621023	0.0621023	-0.343665	-0.343665	-0.660223	-0.660223
$\Delta 4$	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504
$\Delta 5$	1	1	1	1	1	1	1	1
Reflexão	6.0975151	6.0975151	6.5781743	6.5781743	10.366882	10.366882	13.322634	13.322634
L10 (1h) parcial dB(A)	85.58	82.79	65.97	68.94	57.30	60.92	57.03	60.68
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	84.41		67.70		59.48		59.23	
L_{Aeq} previsto dB(A)	82.3		65.3		55.7		55.7	

Tabela 24 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 01/11

Dia 01/11/2016								
Variáveis	P01 - B&K		P13 - Minipa		P14 - Minipa		P07A - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
W = Y	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
E	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41
α	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67
h	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
d	3.27	12.14	10.27	19.14	10.27	19.14	13.27	22.14
β	0	0	7	7	7	7	10	10
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta 1$	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
$\Delta 2$	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066
$\Delta 3$	0.1135804	0.1135804	0.0772493	0.0772493	0.0772493	0.0772493	0.0621023	0.0621023
$\Delta 4$	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504
$\Delta 5$	1	1	1	1	1	1	1	1
Reflexão	6.0975151	6.0975151	6.436744	6.436744	6.436744	6.436744	6.5781743	6.5781743
L10 (1h) parcial dB(A)	85.92	83.57	68.31	71.57	68.31	71.57	66.31	69.72
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	84.90		70.24		70.24		68.34	
L_{Aeq} previsto dB(A)	83.0		68.3		67.5		66.0	

Tabela 25 - Cálculo da estimativa do ruído considerando a difração e a reflexão das barreiras no dia 08/11

Dia 08/11/2016										
Variáveis	P01 - B&K		P07 - Minipa		P08 - Minipa		P09 - Minipa		P10 - Minipa	
Faixas de rodagem	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4	Faixa 1 e 2	Faixa 3 e 4
W = Y	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
E	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41	22.41
α	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67
h	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17	9.17
d	3.27	12.14	3.27	12.14	17.27	26.14	31.27	40.14	63.27	72.14
β	0	0	0	0	14	14	28	28	60.0	60.0
Θ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\Delta 1$	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37	8.37
$\Delta 2$	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066	0.5874066
$\Delta 3$	0.1135804	0.1135804	0.1135804	0.1135804	0.0422863	0.0422863	-0.023862	-0.023862	-0.15908	-0.15908
$\Delta 4$	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504	1.1155504
$\Delta 5$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Reflexão	6.0975151	6.0975151	6.0975151	6.0975151	6.7631987	6.7631987	7.3808322	7.3808322	8.643383	8.643383
L10 (1h) parcial dB(A)	85.96	83.24	85.96	83.24	64.59	67.78	61.43	64.91	58.89	62.52
L10 (1h) para as duas faixas dB(A)	84.81		84.81		66.47		63.51		61.07	
LAeq previsto dB(A)	83.0		82.0		64.3		60.6		59.2	

Para facilitar a comparação todos os resultados encontrados foram agrupados na Tabela 26, 27 e na Figura 19. Os resultados foram homogeneizados, de acordo com o P01 que foi o ponto de referência e estava presente em todos os dias de medição. Assim, os pontos podem ser comparados como se suas medições tivessem sido feitas no mesmo período. Essa homogeneização é feita subtraindo os P01 de dias diferentes e essa diferença será somada (ou subtraída) do valor de cada ponto.

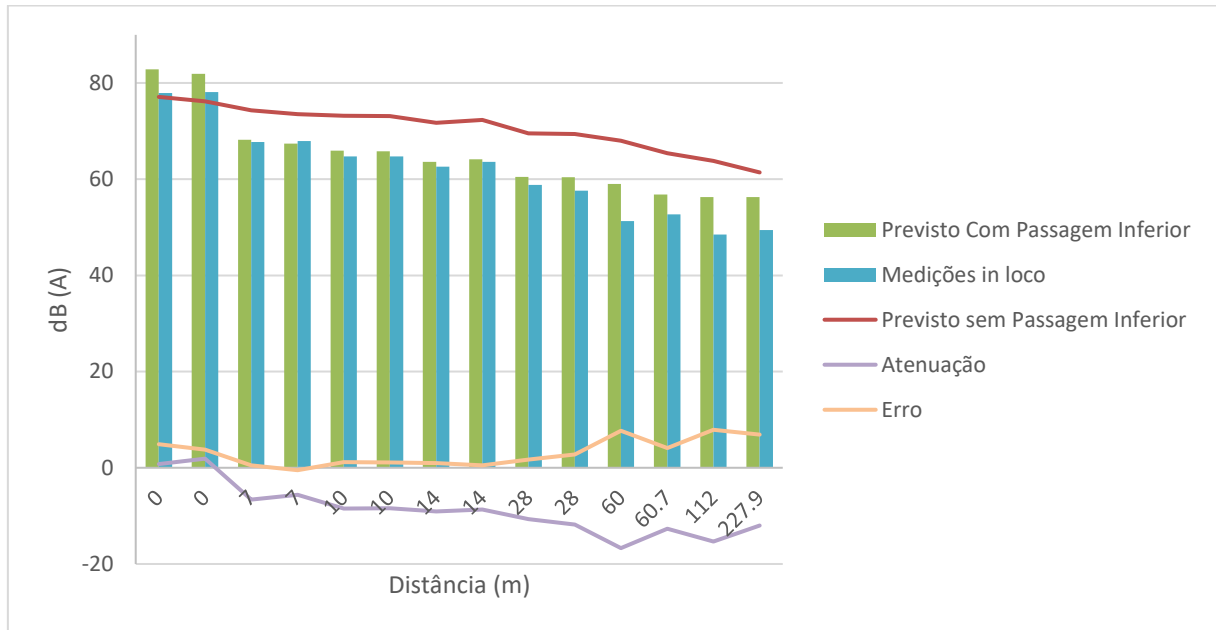
Tabela 26 - Correções em dB(A) para difração e reflexão

	Difração	Reflexão	Resultante
P01 – 0 m	-0.2	5.9	+ 5.7
P07 – 0 m	-0.2	5.9	+ 5.7
P13 – 7 m	-12.3	6.2	- 6.1
P14 – 7 m	-12.3	6.2	- 6.1
P01A – 10 m	-13.6	6.3	- 7.3
P07A – 10 m	-13.5	6.3	- 7.3
P02 – 14 m	-14.5	6.4	- 8.1
P08 – 14 m	-14.7	6.5	- 8.2
P03 – 28 m	-16.0	7.0	- 9.0
P09 – 28 m	-16.0	7.0	- 9.0
P10 – 60 m	-17.3	8.3	- 9.0
P04 – 60.7 m	-16.6	8.0	- 8.6
P05 – 112 m	-17.2	9.7	- 7.5
P06 – 227.9 m	-17.6	12.5	- 5.1

Tabela 27 – Comparação de todos os LA_{eq} em dB(A) previstos e reais

	(1)	(2)	(3)	(2) - (3)	(3) - (1)
	Previsto Sem passagem Inferior	Previsto Com passagem Inferior	Real Com passagem Inferior	Erro previsto com Passagem Inferior	Atenuação previsto vs. real
P01 – 0 m	77.1	82.8	77.9	4.9	+ 0.8
P07 – 0 m	76.2	81.9	78.1	3.8	+ 1.9
P13 – 7 m	74.3	68.2	67.7	0.5	- 6.6
P14 – 7 m	73.5	67.4	67.9	-0.5	- 5.6
P01A – 10 m	73.2	65.9	64.7	1.2	- 8.5
P07A – 10 m	73.1	65.8	64.7	1.1	- 8.4
P02 – 14 m	71.7	63.6	62.6	1.0	- 9.1
P08 – 14 m	72.3	64.1	63.6	0.5	- 8.7
P03 – 28 m	69.5	60.5	58.8	1.7	- 10.7
P09 – 28 m	69.4	60.4	57.6	2.8	- 11.8
P10 – 60 m	68.0	59.0	51.3	7.7	- 16.7
P04 – 60.7 m	65.4	56.8	52.7	4.1	- 12.7
P05 – 112 m	63.8	56.3	48.5	7.9	- 15.3
P06 – 227.9 m	61.4	56.3	49.4	6.9	- 12.0

Figura 19 – Gráfico comparando todos os LA_{eq} em dB(A) previstos, reais, atenuação e o erro



Comparando as estimativas do CoRTN para os níveis de ruído com a passagem inferior e os valores medidos em campo, constata-se que as expressões estimam níveis de ruído mais elevados, principalmente se o ponto de recepção estiver na borda da passagem inferior ou muito distantes do ponto de recepção.

Os pontos intermediários (após a borda até 28 m de distância da borda da passagem inferior) foram os que apresentaram menores erros, que vão desde 0,5 dB(A) até 2,8 dB(A); os pontos situados nas bordas apresentaram erros de em média 4,4 dB(A) e os pontos muito distantes (a partir de 60,7 m da borda) tiveram variações na ordem de 4,1 dB(A) a 7,9 dB(A).

Uma explicação para essas grandes variações é que as expressões do CoRTN não levam em consideração a forma urbana ao redor dos pontos de recepção, ou seja, não levam em consideração às edificações no entorno e considera que todos os pontos de recepção estão em um mesmo nível, sem levar em conta a topografia do terreno.

Outra justificativa vem do fato da existência de uma saliência (ver Figura 11) no topo da barreira que não é considerada nas expressões do CoRTN; esta saliência contribui para reduzir a parcela do ruído que atravessa a barreira e minimizaria as variações encontradas entre a previsão e a realidade no nível de ruído.

A partir dos valores obtidos na Tabela 26, observa-se que a difração da barreira mais próxima teve um efeito mais preponderante no nível de ruído, verificou-se também que a parcela de

reflexão da barreira oposta varia em menor proporção que a de difração e os pontos em zona iluminada são os mais afetados pela reflexão, pois a difração da barreira próxima é muito baixa; em resumo, quanto mais distante for o ponto de recepção da borda da passagem inferior, maior será o efeito benéfico da passagem inferior.

Logo, conclui-se que a passagem inferior tem um efeito redutor de ruído com o aumento da distância entre o ponto de recepção e após a borda da passagem, posto que ele só atenua o ruído se o ponto estiver situado na zona de sombra acústica. Quando comparados as estimativas de ruído sem a passagem inferior com os valores reais do ruído com a passagem inferior chega-se a uma atenuação média, apenas nos pontos em sombra acústica, de 11,8 dB(A).

Confirma-se, assim, a eficiência da passagem inferior como uma solução para a minimização do ruído de tráfego em áreas residências, visto que, além de ser quantitativamente eficiente em termos de redução do nível de ruído ainda é uma barreira acústica que não provoca um impacto visual muito grande nas regiões circunvizinhas.

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Esse trabalho buscou relatar uma pesquisa que estudou a eficiência de uma passagem inferior como barreira acústica na redução de ruído de tráfego, utilizando-se do bairro Tambauzinho como campo experimental. Essa região, predominantemente, residencial apresenta um trecho no qual a área urbana é cortada pela BR-230. Foram levados em conta os seguintes aspectos: características geométricas da barreira e da via de tráfego intenso, dados de tráfego, velocidade dos veículos e níveis de ruído a diferentes distâncias. Este estudo se deu realizando medições de nível de pressão sonora no local, em conjunto com estimativas destes níveis através de expressões empíricas da literatura. A via expressa se caracteriza por apresentar quatro faixas de tráfego, sendo duas para cada sentido, que se somando com os acostamentos laterais e canteiro central compreende uma largura de 22,41 metros, o desnível entre as faixas de rodagem da via expressa e o nível da rua, onde foram realizadas as medições, é de 8,37 metros.

A partir das predições acústicas utilizando as expressões do CoRTN, onde se estimou o nível de ruído considerando dois cenários: um sem a passagem inferior e outro com a passagem inferior; para o cenário com a passagem inferior, estimou-se o ruído considerando a difração devido a barreira mais próxima e as reflexões devido à barreira oposta. Foi confrontado os valores previstos com os reais coletados e observou-se que a passagem inferior produziu uma atenuação sonora para os pontos situados na zona de sombreamento acústico e uma amplificação nos pontos situados na zona iluminada. Este efeito de amplificação aconteceu devido ao fato da parcela de reflexão da barreira oposta ser maior do que a parcela de difração da barreira próxima, na zona iluminada, visto que esses pontos estão encostados na barreira; ao contrário do que ocorre nos pontos situados na zona de sombra onde a obstrução da primeira barreira tem um efeito mais preeminente no nível de pressão sonora do que a reflexão da barreira mais distante, resultando em atenuação global do ruído. Os pontos situados na zona de sombra acústica apresentaram uma redução média de 11,8 dB(A), quando comparados as estimativas de ruído sem a passagem inferior com os valores reais do nível de ruído; constatou-se também que, via de regra, a atenuação do nível de ruído é crescente com a distância entre a borda da passagem inferior e o ponto de recepção.

Constatou-se, então, que a passagem inferior causa uma atenuação significativa no nível de ruído com o aumento da distância apenas para os pontos localizados na zona de sombra acústica, confirmando a eficiência da passagem inferior como uma solução para a minimização do ruído de tráfego em áreas residenciais, pois, além de ser quantitativamente eficiente em termos de

redução do nível de ruído ainda é uma barreira acústica que não provoca um impacto visual muito grande nas regiões circunvizinhas e já é uma solução utilizada para prover o escoamento de veículos em vias de trânsito rápido.

Por fim, os resultados também mostram que os valores previstos pelas expressões do CoRTN estimam valores de ruído maiores que a realidade e isso pode ser explicado devido a deficiência das expressões em não considerarem a forma urbana ao redor dos pontos de recepção nem a forma do topo da barreira. Futuramente, prevê-se então, a realização de uma nova simulação do nível de ruído utilizando o software SoundPLAN, esse novo estudo justifica-se, pois, este software avalia a propagação sonora em uma área edificada e também é possível considerar a forma do topo da barreira nos cálculos.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - NBR 10151 - Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro. (2000).
- ARENAS, J.P. Potential problems with environmental sound barriers when used in mitigating surface transportation noise. *Science of the Total Environment*, Vol. 405, pp. 173 – 179. (2008).
- ARRUDA, F. R. et al. Aspectos do controle de ruído urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA, 19, 2000, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SOBRAC, 2000. p. 410-415. (2000).
- AVSAR, Y. GONULLU, M. T. Determination of safe distance between roadway and school buildings to get acceptable school outdoor noise level by using noise barriers. *Building and Environment*, Oxford, V. 40, pp. 1255-1260. (2005).
- BALBO, J. T. Rodovias e meio-ambiente: alternativas de matéria prima físico-ambiental. São Paulo: Instituto de Estudos Avançados - USP. 13 p. (1996).
- BALDAUF R.W. et al. Influence of solid noise barriers on near-road and on-road air quality. *Atmospheric Environment*. Editora Elsevier. Vol. 129, pp. 265 – 276. (2016).
- BARBOSA, A. L. S. Estudo de Barreiras Acústicas para a Atenuação do Ruído Aeronáutico no Aeroporto de Congonhas em São Paulo. 2015. 346 f. Tese de Doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo. (2015).
- BARRETO, A. F. Barreiras Acústicas: A Escolha dos Materiais e sua Instalação. *Sea Acústica*, Guimarães, Portugal. (2004).
- BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELA, D.H. (Eds.). *Guidelines for community noise*. World Health Organization (WHO). (1999).
- BISTAFA, S. R. Acústica aplicada ao controle do ruído, Edgard Blücher, São Paulo. (2006).
- BRESSANE, A. et al. Zoneamento ambiental acústico como estratégia de gestão e controle da poluição sonora urbana. *RAEGA – O espaço geográfico em análise*. V. 35 pp. 147-168. (2015).

BRESSANE, A.; SANTARINE, G.A.; MAURICIO, J.C. Análise fenomenológica da poluição sonora: síntese de princípios fundamentais da teoria acústica. *Holos Environment*, Rio Claro, V. 10, N. 2, pp. 223-237. (2010).

BRÜEL & KJAER. *Environmental noise*. Dinamarca, 67p. (2001).

CALIXTO, A. O ruído gerado pelo tráfego de veículos em “RODOVIAS GRANDES AVENIDAS” situadas dentro do perímetro urbano de Curitiba, analisado sob parâmetros acústicos objetivos e seu impacto ambiental. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica - UFPR. Curitiba. (2002).

CAVALCANTE, B. V. L. et al. Avaliação do efeito de passagem inferior na redução de ruído de tráfego. In: XXVII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013, Belém. Anais do XXVII ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes. Belém: ANPET - Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013. v. 1. p. 1-11. (2013).

CHAVES, M. S.; Estudo da Atenuação de Ruídos por Barreiras Acústicas Usando o Método de Elementos de Contorno. Dissertação de Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática e Computacional. Minas Gerais. (2012).

CONAMA 001/90. Resolução 001/90. Conselho Nacional do Meio Ambiente. (1990).

DENATRAN. Estatística: frota. Departamento Nacional de Trânsito. (2009). Disponível em: <<http://denatran.gov.br/index.htm>> Acesso em: 10 out. 2016.

DENATRAN. Estatística: frota. Departamento Nacional de Trânsito. (2015). Disponível em: <<http://denatran.gov.br/index.htm>> Acesso em: 10 out. 2016.

DIAZ, E.G., et al. Evolucion del nivel de ruido ambiental en la ciudad de Valencia: acciones de control. In: Congresso Iberoamericano De Acústica, 1; Simpósio De Metrologia E Normatização Em Acústica Do Mercosul, 1; Encontro Da Sociedade Brasileira De Acústica, 18, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 471-474. (1998).

FAHY, F. J. *Sound and structural vibration*. Academic Press, London 1985.

FANTINI NETO, R. Higiene do trabalho. Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho. Curitiba: UTFPR. (2010).

FREITAS, E.F.; TRABULO, L. Desempenho de Barreiras Acústicas – dois métodos de avaliação. Editora Universidade do Minho. Vol. 29, pp. 15 – 26. (2007).

FHWA. Highway Traffic Noise Analysis and Abatement Policy and Guidance. 75 p.. Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation. Washington. (2011).

GERGES, SAMIR N.Y. Ruído: Fundamentos e Controle, 2^a ed., Florianópolis. (2000).

GIL, F. V. Las carreteras: sus efectos sobre las águas. In: SIMPOSIO SOBRE CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE, 2. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. Anais... Madrid: Asociacion Tecnica de Carreteras, pp. 197-213. (1992).

GUEDES, I. C. M. Influência da forma urbana em ambiente sonoro: Um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE). Dissertação de Mestrado da Pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. (2005).

HALFWERK, W.; HOLLEMANN, L.J.M.; LESSELLS, C.M.; SLABBEKOORN, H. Negative impact of traffic noise on avian reproductive success. *Journal of Applied Ecology*, London, V. 48, pp. 210-219. (2011).

HARRIS, C. Handbook of Noise Control, McGraw-Hill. (1979).

HMSO. Calculation of Road Traffic Noise. Department of Transport. London: Her Majesty's Stationery Office. 94 p. (1988).

IBGE. Banco de dados: Cidades. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

JOÃO PESSOA. Perfil Do Município De João Pessoa. Prefeitura Municipal de João Pessoa – Secretaria de planejamento. (2004). Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/seplan/perfil-joao-pessoa/>> Acesso em 17 out. 2016.

JOÃO PESSOA. Mapas de bairros de João Pessoa. Prefeitura Municipal de João Pessoa – Secretaria de planejamento. (2006). Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/portal/wp-content/uploads/2012/04/Mapa-dos-Bairros-de-Joao-Pessoa.pdf>> Acesso em 17 out. 2016.

KANG, J. Urban sound environment. London and New York: Taylor & Francis. (2007).

KOTZEN, B. ENGLISH, C. Environmental noise barriers. London, New York: E & FN SPON. (1999).

LANGDON, B. A. and SCHOLLES, W. E. The traffic noise index: a method of controlling noise nuisance. Report no. BRS-CP-38-68. April. Publications Officer, Building Research Station. Herts, England. 20p. (1968).

LI, B. et al. A GIS based road traffic noise prediction model. Applied Acoustics, V. 63, pp. 679-691. (2002).

MAIA, P. A. Estimativa de exposições não contínuas a ruído: Desenvolvimento de um método e validação na Construção Civil. Doutorado em Engenharia Civil. Universidade Estadual de Campinas. (2001).

MANUAL B&K MODELO 2250L. USER MANUAL - Hand-held Analyzer Types 2250 and 2270. Brüel & Kjaer, Edição de Fevereiro de 2016. (2016). Disponível em: <<http://www.bksv.com>> Acesso em 01 out. 2016.

MARCELO, C. B. Sons e Formas - As Barreiras Acústicas na atenuação do ruído na cidade. Dissertação de Mestrado de Arquitetura e Urbanismo na Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo. (2006).

MELO, R. A.; PIMENTEL, R. L.; SILVA, W. M.; LACERDA, D. M. Previsão do nível de ruído gerado pelo tráfego de veículos na cidade de João Pessoa, Brasil. In: XVI PANAM - Pan-American Conference of Traffic and Transportation Engineering and Logistics, 2010, Lisboa. V. 1. pp. 1-18. (2010).

MELO, R. A.; PIMENTEL, R. L.; LACERDA, D. M.; SILVA, W. M. Applicability of models to estimate traffic noise for urban roads. J ENVIRON HEALTH SCI, v. 13, p. 83. (2015).

MEHTA, M.; J. JOHNSON, J. e J. ROCAFORT. Architectural Acoustics – Principles and Design. Prentice-Hall, USA, 446 p. (1999).

NUNES, M. F. O.; SANTOS, J. P. Estudo do ruído de tráfego veicular em Santa Maria. In: Congresso Iberoamericano De Acústica, 1; Simpósio De Metrologia E Normatização Em Acústica Do Mercosul, 1; Encontro Da Sociedade Brasileira De Acústica, 18, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 511-514. (1998).

OMS – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines for community noise. (2011). Disponível em: <<http://www.who.int/docstore/peh/noise/>>. Acesso em: 15 out. 2016.

ONU, M. U. Road traffic noise in Nigeria: measurements, analysis and evaluation of nuisance. *Journal of Sound and Vibration*, 233 (3), pp. 391-405. (2000).

OUIS D. Annoyance from road traffic noise: a review. *Journal of Environmental Psychology*. Editora Elsevier. Vol. 21, pp. 101 – 120. (2001).

PIMENTEL, R. P. et al. Impacto gerado por alterações em via urbana no nível de ruído em edificações circunvizinhas. In: XXI ANPET - Congresso Nacional de pesquisa e Ensino de Transportes, Rio de Janeiro. V. 1. pp. 1-8. (2007).

POLETTI, J. A. Análise do ruído e da vibração na utilização de roçadores motorizados. XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Belo Horizonte. (2011).

SALIUNAS, D., VOLKOVAS, V. Investigation of noise barriers enhancement efficiency for attenuation of low frequency traffic noise. *MECHANIKA*. Vol. 21 pp. 56 – 63. 2015.

SANTOS, U. de P.; MATOS, M. P.; MORATA, T. C.; OKAMOTO, V. A. Ruído: riscos e prevenção. 2. ed. São Paulo: Hucitec. (1996).

SATO, T. et. al. Road traffic noise annoyance in relation to average noise level, number of events and maximum noise level. *Journal of Sound and Vibration*, 223, n.5, p. 775 -784, (1999).

SINDUSCON-JP. Pesquisa de Mercado - valor do m² por bairro em João Pessoa. Pesquisa de Agosto de 2016. (2016). Disponível em: <<http://www.sindusconjp.com.br/servicos/downloads>> Acesso em 17 out. 2016.

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

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

SOMMERHOFF, J., RECUERO, M.; SUÁREZ, E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. *Applied Acoustics*, 65, p. 643-656. (2004).

SUÁREZ, E.; PÉREZ, M. A. Desarrollo y aplicación de una metodología simple para determinar índices de contaminación acústica en una zona urbana (caso Comuna Talcahuano). In: CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA, 1; Simpósio de Metrologia e

Normatização em Acústica do Mercosul, 1; Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, 18, 1998, Florianópolis. Anais... Florianópolis: SOBRAC, 1998. p. 467-470. (1998).

TARRIO, F. R. Ruido: medidas correctoras: experiencias. In: SIMPOSIO NACIONAL SOBRE CARRETERAS Y MEDIO AMBIENTE, 2. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. Anais... Madrid: Asociacion Tecnicas de Carreteras. pp. 97-109. (1992).

WAY, J. M. Road verges and conservation in Britain: review. *Biological Conservation*, V. 12, pp. 65-74. (1977).

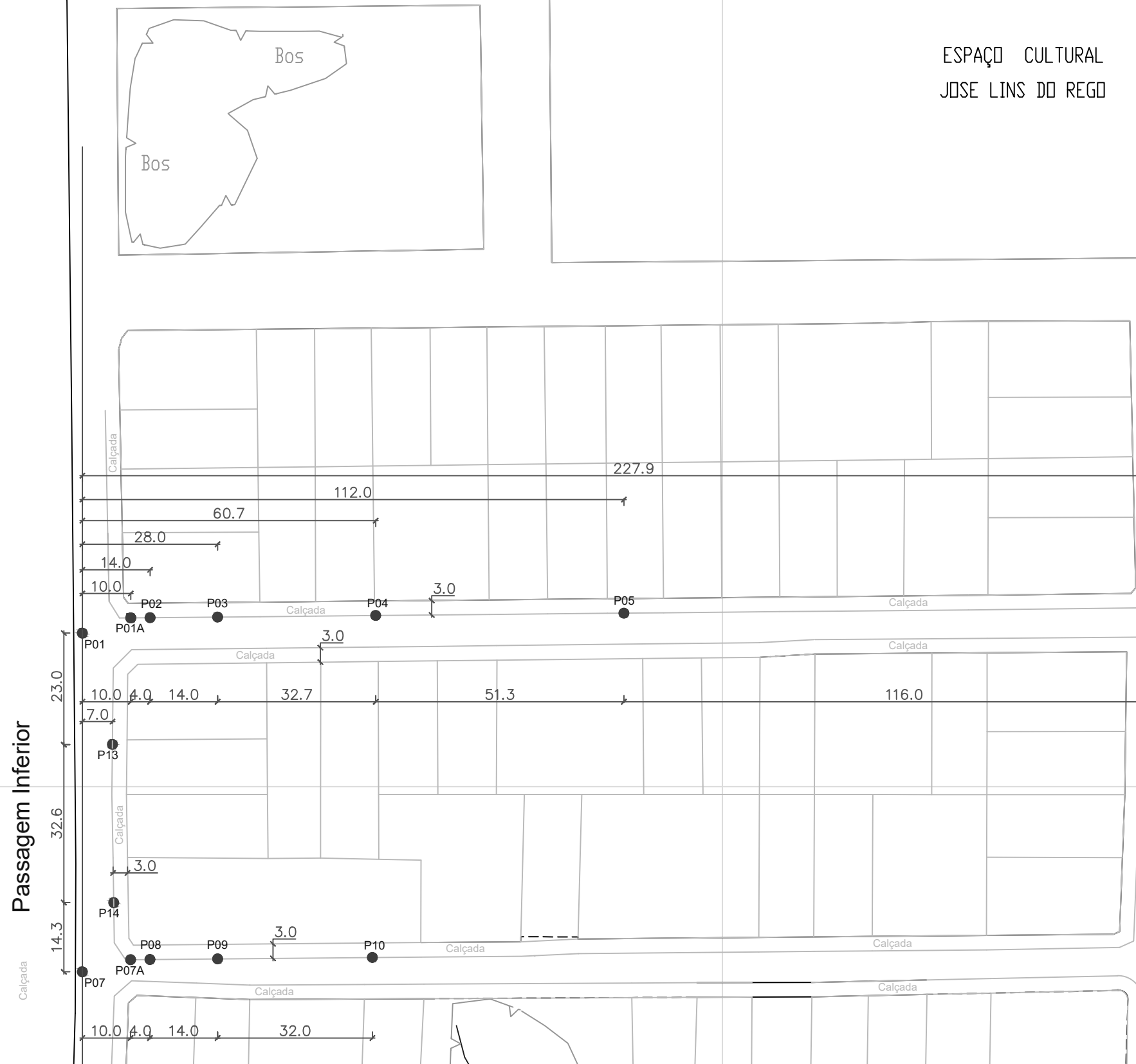
ZANNIN, P.H.T.; SANT'ANA, D.Q. Noise mapping at different stages of a freeway redevelopment project A case study in Brazil. *Applied Acoustics*, Amsterdam, V. 72, n. 8, pp. 479-486. (2011).

APÊNDICE

Filmadora ● Radar de Velocidade ●

ESPAÇO CULTURAL
JOSE LINS DO REGO

Passagem Inferior



TÍTULO:	PONTOS PARA MEDIÇÃO DE RUÍDO	RESPONSÁVEL TÉCNICO:	ADALICE MEDEIROS
ASSUNTO:	APÊNDICE 03	ESCALA:	1/1000
CLIENTE:	TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - UFPB	FOLHA:	01/01
		REVISOR:	ROBERTO PIMENTEL
		DATA:	NOV/2016