

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SAMUEL SOARES ANSAY

**ESTUDO DA POLUIÇÃO SONORA ATRAVÉS DO MAPA DE RUÍDO NA
IMPLANTAÇÃO DO NOVO CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE
TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR**

CURITIBA

2013

SAMUEL SOARES ANSAY

**ESTUDO DA POLUIÇÃO SONORA ATRAVES DO MAPA DE RUÍDO NA
IMPLANTAÇÃO DO NOVO CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE
TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ - UTFPR**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção de grau de Mestre em Engenharia Ambiental, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

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

CURITIBA

2013

AGRADECIMENTOS

A Deus Pai, Filho e Espírito Santo, porque Dele, por Ele e Para Ele são todas as coisas.

Ao professor e grande incentivador Dr. -Ing.- Paulo Henrique Trombetta Zannin, por compartilhar sua experiência e conhecimento, pela sua orientação, conselhos, amizade e por abrir as portas de seu laboratório acolhendo o meu trabalho.

À Noemi, esposa, amiga, companheira pela sua presença e influencia em todos os momentos da minha vida, em especial nesse tempo de estudo.

A Nicolle, filha e amiga, pelo apoio e paciência com o pai estudante.

Ao Paulo Eduardo Fiedler pela amizade e pelo apoio e ajuda nas horas de apuro com o Predictor.

As colegas de mestrado Mirre Milanez e Patricia Dias Soares pela ajuda e companheirismos nas muitas vezes andamos pelos mesmos caminhos.

Aos professores do PPGEA - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

A secretária do PPGEA - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

Aos professores da banca Dr. Tobias Bleninger e Dr. Bani Szeremeta pelo apoio, compreensão e conselhos já no final desta jornada.

RESUMO

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, desde 2001 esta com um processo de implantação de um campus universitário na cidade de Curitiba na região Ecoville, a qual sofre com os problemas de um grande centro urbano, dentre eles a poluição sonora causada pelo ruído urbano. O presente trabalho tem por objetivo estudar o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário dentro do Campus Ecoville da UTFPR. Para tanto fez se uso de medições *in situ* do nível de pressão sonora no campus e de simulação computacional gerando mapas da distribuição do ruído de tráfego no campus. As seguintes etapas foram realizadas 1. Caracterização do Campus Ecoville; 2. Medição do nível de ruído e contagem do fluxo de veículos pelas vias do entorno do campus; 3. Tabulação dos dados; 4. Mapeamento acústico; 5. Avaliação de cenários; 6. Conclusão e sugestões. Para a análise do impacto do ruído no campus e geração do mapa de ruído foram trabalhados três cenários distintos, o primeiro retratando a atual situação do campus, ainda em fase de implantação, utilizado para validar o modelo computacional por meio de comparação com as medições realizadas e dois modelos futuros, para cinco anos, retratando o campus em seu estágio final, de acordo com o Plano Diretor, sendo que ambos consideram um crescimento no trânsito de 5,6% ao ano e uma redução na velocidade máxima das vias em 50%, e um deles considerou mais a construção de prédios nas quadras vazias ao redor do campus. Os resultados indicaram que, apesar do aumento no fluxo de veículos, nos locais sob ação direta do ruído emitido pelas vias de trânsito foi possível obter uma redução em até 4 dB(A) no nível de ruído devido à redução na velocidade dos veículos e que a construção de edifícios nas quadras do outro lado da via de trânsito não tiveram influencia no ruído dentro do campus. Quanto ao impacto do ruído, apenas poucos espaços possuem um nível de ruído abaixo do nível indicado de 55 dB(A), sendo que os edifícios que recebem ação direta do ruído das vias de trânsito recebem diretamente em sua fachada um nível de ruído entre 66 e 74 dB(A). O trabalho evidencia a necessidade do controle do ruído em áreas sensíveis ao ruído como uma universidade e traz sugestões para mitigar o efeito da poluição ambiental em grandes centros urbanos.

Palavras chave: poluição sonora, ruído ambiental, mapeamento sonoro, campus universitário, planejamento urbano.

ABSTRACT

The Federal Technological University of Paraná, UTFPR, is in the process of implementing a university campus in the city of Curitiba in Ecoville region since 2001, this region faces problems of a large urban center, including noise pollution caused by urban noise. The present work aims to study the environmental impact sound generated by road traffic in the Ecoville's campus UTFPR. *In Situ* measurements of sound pressure level were made on campus and computer simulations in order to produce maps of the distribution of traffic noise on campus. The following steps 1. Characterization of Ecoville's Campus were conducted; 2. Measurement of noise level and vehicle flow count from the transit lanes surrounding the campus; 3. Tabulation of data; 4. Acoustic Mapping; 5. Evaluation of scenarios; 6. Conclusion and suggestions. To analyze the impact of noise on campus and generation of noise map were worked three different scenarios, the first portraying the current state of the campus, still under implementation, used to validate the computer model by comparing with measurements made and two future models, for five years, portraying the campus in its final stage, according to the Long Term Development Plan, both of which consider an increase in traffic of 5.6% per year and a reduction in the maximum speed of the roads by 50% and most of them considered the construction of buildings in empty blocks around the campus. The results indicated that, despite the increase in the flow of vehicles in places under direct action of noise emitted by transit routes was possible to obtain a reduction of up to 4 dB (A) noise level due to the reduction in vehicle speed and the construction of buildings in blocks across the transit lane had no influence on traffic noise within the campus. About the impact of noise, only a few regions have a noise level below the indicated level of 55 dB (A), and the buildings that receive direct effect of noise from traffic lanes are given directly on its facade a noise level between 66 and 74 dB (A). The work demonstrates the need to control noise in noise sensitive areas as a university and brings suggestions for mitigating the effect of environmental pollution in large urban centers.

Keywords: noise pollution, environmental noise, noise mapping, university campuses, urban planning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ONDA SONORA:	18
FIGURA 2 - RUÍDO CONTÍNUO ESTACIONÁRIO	21
FIGURA 3 - RUÍDO CONTÍNUO NÃO ESTACIONÁRIO	22
FIGURA 4 - RUÍDO CONTÍNUO FLUTUANTE	22
FIGURA 5 - RUÍDO INTERMITENTE	23
FIGURA 6 - RUÍDO DE IMPACTO	23
FIGURA 7 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA PARA UMA ONDA SONORA COMPLEXA (E) APRESENTADA NO DOMÍNIO DO TEMPO (A-C-E) E NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA (B-D-F).....	27
FIGURA 8 – AVIÃO COMO FONTE ESFÉRICA R=4,0 M – 114 DB; R = 8,0 M – 108 DB; R = 16,0 M – 102 DB.	30
FIGURA 9 - FONTE LINEAR - LEITURA A 2,0 M = 74,0 DB ; 4,0 M = 71,0 DB ; 8,0 M =68,0 DB.....	31
FIGURA 10 - CURVA DE IGUAL LOUDNESS,	32
FIGURA 11 - CURVAS DE PONDERAÇÃO.....	33
FIGURA 12 - NÍVEL DE SOM CONTÍNUO EQUIVALENTE - EM VERMELHO O VALOR DO L_{eq} E EM AZUL O VALOR AMOSTRADO.	35
FIGURA 13 - COMPOSIÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL	37
FIGURA 14 - POSIÇÕES DA VIA EM RELAÇÃO ÀS CONSTRUÇÕES.....	39
FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DOS 8 PONTOS DE MEDIÇÃO NO CAMPUS DA GAUHATI UNIVERSITY, AO LONGO DA RODOVIA NH-37.....	53
FIGURA 16 – A) MAPA DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO DIVIDIDO EM QUATRO REGIÕES,	54
FIGURA 17 - MAPA DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE DE BERKELEY PARA O RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL DO PLANO DE DESENVOLVIMENTO DE LONGO PRAZO 2020, COM 26 PONTOS DE MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO DENTRO DO CAMPUS.....	57
FIGURA 18 - A) DIVISÃO DO CAMPUS DA UNICAMP EM ÁREAS TRIANGULARES COM 450 DE DISTÂNCIA ENTRE OS NÓS. B) MAPA DE RUÍDO AMBIENTAL DA UNICAMP COM A LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS E OS VALORES OBTIDOS POR MEIO DE MEDIÇÃO.....	59
FIGURA 19 - MAPA DE RUÍDO AMBIENTAL DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO DA UNIVERSIDADE FERERAL DO PARANÁ, UFPR, MALHA DE 5X5M A 4,0 M DE ALTURA DO CHÃO.....	60
FIGURA 20 – MAPA ACÚSTICO DO CAMPUS DA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, MALHA 200X200M COM 53 PONTOS DE MEDIÇÃO A 4M DE ALTURA. MAPA OBTIDO POR INTERPOLAÇÃO DE SUPERFICIE TIPO KRIGING.	61
FIGURA 21 – ZONEAMENTO E USO DE SOLO DA CIDADE DE CURITIBA	73
FIGURA 22 - VISTA AÉREA COM A LOCALIZAÇÃO DO CAMPUS ECOVILLE.....	75
FIGURA 23 - SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA, COM A LOCALIZAÇÃO DO CAMPUS ECOVILLE NA ÁREA DELIMITADA PELO CÍRCULO AMARELO.....	76
FIGURA 24 - RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO SENTIDO BAIRRO, PRÓXIMO À ESQUINA R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO.....	77
FIGURA 25 - RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO SENTIDO CENTRO, PRÓXIMO À ESQUINA R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO.....	78

FIGURA 26 - RUA PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA, PRÓXIMO À ESQUINA COM A RUA R. PE. PAULO WARKOCZ.....	78
FIGURA 27 - MONSENHOR IVO ZANLORENZI, SENTIDO BAIRRO CENTRO, PRÓXIMO A ESQUINA COM A R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO	79
FIGURA 28 - R. PADRE PAULO WARKOCZ, RUA DE MÃO DUPLA, ENTRE A R. MONSENHOR IVO ZANLORENZI E R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO.....	80
FIGURA 29 - PADRE PAULO WARKOCZ LATERAL, RUA DE MÃO DUPLA, ENTRE A R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E RUA PROFESSOR PEDRO VIRIATO PARIGOT SE SOUZA.....	80
FIGURA 30 - R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO, FIGURA 42, ENTRE A R. PROFESSOR PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA E A R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO.....	81
FIGURA 31 - R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO, ENTRE A R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E A R. MONSENHOR IVO ZANLORENZI	81
FIGURA 32 - FOTO AÉREA DO INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DO BLOCO N, EM OUTUBRO DE 2006, COM VISTA DA PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA	82
FIGURA 33 - PLANO DIRETOR CAMPUS ECOVILLE.....	83
FIGURA 34 - BOCO C, VISTA DE MAQUETE ELETRÔNICA.	84
FIGURA 35- MAQUETE ELETRÔNICA DO BLOCO N.....	85
FIGURA 36 - DISTÂNCIAS TOMADAS AO POSICIONAR O MEDIDOR EM CAMPO.	86
FIGURA 37 – MEDIDOR DE NÍVL DE PRESSÃO SONORA.....	87
FIGURA 38 – CALIBRADOR 01DB MODELO CAL 21.....	88
FIGURA 39 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS COLETADOS NO DIA 9 DE NOVEMBRO DE 2012.....	89
FIGURA 40 - SENTIDO DA CONTAGEM DOS VEÍCULOS.....	90
FIGURA 41 - MAPA DE RUÍDO EM 3D DO PRIMEIRO CENÁRIO, SITUAÇÃO EM QUE O CAMPUS SE ENCONTRAVA QUANDO DA REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES EM 09/11/2013.....	101
FIGURA 42 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES OBTIDOS POR MEIO DA MEDIÇÃO COM O VALOR MÁXIMO REGULAMENTADO POR LEI, 55 DB(A) PARA ZONA DE SILÊNCIO, LINHA HORIZONTAL VERMELHA. COMO REFERÊNCIA ESTÁ APRESENTADO O NÍVEL MÁXIMO PARA A REGIÃO DE ZONEAMENTO EM QUE O CAMPUS ESTÁ LOCALIZADO, 65 DB(A) PARA REGIÃO SE-NC, LINHA HORIZONTAL VERDE.....	103
FIGURA 43 MAPA DE RUÍDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO DIRETOR, SEM MODIFICAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES DO ENORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NO LIMITE DE VELOCIDADE DAS VIAS DO ENTORNO DO CAMPUS.	104
FIGURA 44 - COMPARATIVO ENTRE MUDANÇAS OCORRIDAS CO CENÁRIO 1, TEMPO PRESENTE PAR O CENÁRIO 2 FUTURO PRÓXIMO.....	105
FIGURA 45 - COMPARATIVO ENTRE MUDANÇAS OCORRIDAS CO CENÁRIO 1, TEMPO PRESENTE PAR O CENÁRIO 2 FUTURO PRÓXIMO.....	106
FIGURA 46 - COMPARATIVO ENTRE MUDANÇAS OCORRIDAS NO CENÁRIO 1, TEMPO PRESENTE PARA O CENÁRIO 2 FUTURO PRÓXIMO.	106
FIGURA 47 - MAPA DE RUÍDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO	

DIRETOR, COM ACRÉSCIMO DE EDIFICAÇÕES NAS QUADRAS DO ENTORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NA VELOCIDADE MÁXIMA PERMITIDA.	108
FIGURA 48 – COMPARATIVO DE UMA MESMA REGIÃO DE ACORDO COM AS DUAS OPÇÕES PARA O CENÁRIO FUTURO.	108
FIGURA 49 - MAPA DE RUÍDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO DIRETOR, COM ACRÉSCIMO DE EDIFICAÇÕES NAS QUADRAS DO ENTORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NO LIMITE DE VELOCIDADE. VISTO PELA DIREÇÃO NORDESTE.	109
FIGURA 50 MAPA DE RUÍDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO DIRETOR, SEM MODIFICAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES DO ENORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NO LIMITE DE VELOCIDADE DAS VIAS DO ENTORNO DO CAMPUS. VISTO PELA DIREÇÃO SUL.	110
FIGURA 51 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO RUÍDO PARA A QUADRA ENTRE AS RUAS RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA	111
FIGURA 52 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO RUÍDO PARA A QUADRA ENTRE A RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E A RUA MONSENHOR IVO ZANLORENZI	112
FIGURA 53 - DETALHE DAS REGIÕES DE SOMBRA, DE COR VERDE, ENTRE OS BLOCOS.	113
FIGURA 54 BLOCOS A, B E C VISTOS DA RUA DEPUTADO DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO.	114
FIGURA 55 BLOCOS C, F, E E D VISTOS DA RUA PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA	114
FIGURA 56 - BLOCOS I-J	115
FIGURA 57 BLOCO K EM PRIMEIRO PLANO COM OS BLOCOS L, M E N AO FUNDO.	116
FIGURA 58 BLOCOS L, M E N, VISTA DE FRENTE PARA A RUA MONSENHOR IVO ZANLONRENI.	117
FIGURA 59 – BLOCO H, BIBLIOTECA E TEATRO.	118
FIGURA 60, VISTA FRONTAL DO BLOCO H, DE FRENTE PARA A RUA MONSENHOR IVO ZANLORENZI.	118
FIGURA 61 – BLOCO H, VISTA POSTERIOR.	119

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - VALORES DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA CALCULADOS À PARTIR DA PRESSÃO SONORA, PARA UMA PRESSÃO SONORA DE REFERÊNCIA DE 20MPA.....	25
TABELA 2 - VALORES DE PONDERAÇÃO PARA OS FILTROS "A" E "C",	33
TABELA 3 - PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA PARA DIVERSAS VARIAÇÕES REAIS DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA .	34
TABELA 4- LIMITES PARA O NÍVEL DE RUÍDO EQUIVALENTE $L_{A_{EQ}}$ PARA DENTRO DAS SALAS DE AULA RECOMENDADO EM DIVERSOS PAÍSES	52
TABELA 5 - TABELA COMPARATIVA SOBRE OS TRABALHOS DE RUÍDO AMBIENTAL EM CAMPI UNIVERSITÁRIOS COM MEDIÇÕES EXTERNAS DO NÍVEL MÉDIO EQUIVALENTE DE RUÍDO, $L_{A_{EQ}}$	63
TABELA 6 - AJUSTE DOS NÍVEIS BASEADO NAS CATEGORIAS DE FONTE SONORA E PERÍODO DO DIA.....	66
TABELA 7 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM DB(A).....	67
TABELA 8 - LIMITES MÁXIMOS DE RUÍDO EMITIDOS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES NA CONDIÇÃO PARADO PARA FINS DE INSPEÇÃO E FISCALIZAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES EM USO.....	71
TABELA 9 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL Nº 10.625/02.....	72
TABELA 10 - VALIDAÇÃO DO MODELO. VALORES MEDIDOS E VALORES SIMULADOS PARA OS MESMOS PONTOS. A DIFERENÇA DEVE SER INFERIOR A 4,6 DB(A).....	97

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	13
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivos específicos	15
1.3	JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO	16
1.4	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	16
2	CONCEITOS FUNDAMENTAIS.....	18
2.1	CONCEITO FÍSICO DO SOM.....	18
2.2	SOM E RUÍDO	20
2.2.1	Tipos de Ruídos	21
2.3	POTÊNCIA SONORA E INTENSIDADE SONORA.....	23
2.4	NÍVEL DE PRESSÃO SONORA	24
2.5	ESPECTRO SONORO.....	26
2.6	CAMPO SONORO	27
2.6.1	Campo livre	28
2.6.2	Campo Próximo.....	28
2.6.3	Campo Distante.....	28
2.6.4	Campo Direto	28
2.6.5	Campo Reverberante	28
2.7	FONTES SONORAS.....	29
2.7.1	Fonte Pontual (Esférica).....	29
2.7.2	Fonte Linear (Cilíndrica).....	30
2.8	PSICOACÚSTICA.....	31

2.8.1	Curvas de ponderação	31
2.8.2	Efeito Subjetivo da Mudança do Nível de Pressão Sonora	34
2.9	NÍVEL DE SOM CONTÍNUO EQUIVALENTE	35
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	36
3.1	RUÍDO AMBIENTAL	36
3.1.1	Definição de Ruído Ambiental	36
3.1.2	Ruído de Tráfego	37
3.2	MEDIÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL	40
3.3	AÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL NA SAÚDE	42
3.3.1	Deficiência Auditiva Induzida por Ruído	42
3.3.2	Interferência com a comunicação e a fala	43
3.3.3	Efeitos sobre sono	43
3.3.4	Efeitos fisiológicos e cardiovasculares	44
3.3.5	Efeitos sobre a Saúde Mental	45
3.3.6	Efeitos sobre o desempenho	45
3.3.7	Efeitos sobre o comportamento social e aborrecimento	46
3.3.8	Efeitos de fontes de ruído combinadas	47
3.4	MAPEAMENTO ACÚSTICO	48
3.5	TRABALHOS SOBRE MAPEAMENTO ACÚSTICOS REALIZADOS NO BRASIL E NA CIDADE DE CURITIBA-PR	49
3.6	TRABALHOS SOBRE RUÍDO AMBIENTAL EM CAMPI UNIVERSITÁRIOS	51
3.7	MODELAGEM DE RUÍDO RODOVIÁRIO	64
4	NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA O RUÍDO AMBIENTAL	65
4.1	NORMAS PARA O RUÍDO AMBIENTAL	65
4.2	LEGISLAÇÃO PARA O RUÍDO AMBIENTAL	68
5	MATERIAIS E MÉTODOS	74

5.1	INTRODUÇÃO	74
5.2	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	74
5.2.1	Universidade Tecnológica Federal do Paraná	74
5.2.2	Campus Ecoville.....	75
5.3	MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO E CONTAGEM DE VEÍCULOS <i>IN SITU</i>	85
5.3.1	Localização dos pontos de medição	85
5.3.2	Tabulação dos dados	90
5.4	SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL	91
5.4.1	Modelagem Computacional.....	95
5.4.2	Validação do Modelo.....	96
5.4.3	Cálculo do mapeamento	98
6	RESULTADOS E ANÁLISES	100
6.1	CENÁRIO ATUAL - 2013	100
6.2	PRIMEIRO CENÁRIO FUTURO - 2018.	103
6.3	SEGUNDO CENÁRIO FUTURO - 2018.....	107
6.4	DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DO RUÍDO NO CAMPUS ECOVILLE	109
6.5	DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO RUÍDO NO CAMPUS ECOVILLE	110
6.6	ANÁLISE DO RUÍDO DE FACHADA NOS EDIFÍCIOS.....	113
7	CONCLUSÕES	120
7.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	121
	REFERÊNCIAS	122
	APÊNDICE A: MEDIÇÃO DO NÍVEL DE RUÍDO E CONTAGEM DE VEÍCULOS EM 22 PONTOS NO CAMPUS ECOVILLE E VIZINHANÇA NO DIA 09/11/2012	131
	APÊNDICE B: CÁLCULO DO FLUXO DE VEÍCULOS PARA O CENÁRIO DE FUTURO	

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Desenvolvimento de nossa sociedade tem produzido diversas melhorias nas condições de vida, comunicação entre as pessoas e no transporte de pessoas e cargas, resultando em melhor conforto, aumento da expectativa de vida e diminuindo a distância entre as pessoas e as culturas, entre outros benefícios. Este desenvolvimento pode ser caracterizado pelos avançados meios de transporte e de comunicação, produtos eletroeletrônicos de última geração dentro das casas, máquinas automatizadas nas indústrias e produtos eletrônicos de porte pessoal como telefone celular. Entretanto o uso de tais equipamentos e tecnologias também apresenta uma parcela que atua em sentido contrário ao benefício esperado produzido uma deterioração na qualidade de vida, conforto e saúde reduzindo o benefício global esperado. A esta parcela do resultado do uso de tais equipamentos e tecnologias chamamos de poluição (RECCO 2002; SCHADE 2008; UNESCO, 2003).

Esta poluição se apresenta na forma de particulados, detritos, ruídos e lixo lançados no meio ambiente, contaminando o ar, solo, rios, mares, florestas e as cidades tornando muitas vezes insustentável a vida humana e animal em diversas localidades. Dentre tantas formas de poluição destaca-se a poluição sonora encontrada no uso de qualquer tipo de equipamento mecânico ou eletroeletrônico, caracterizada pelo ruído emitido por estes equipamentos quando em funcionamento. A poluição sonora tem causado inúmeros distúrbios de saúde e diminuição na qualidade da comunicação entre as pessoas (AHRLIN; ÖHRSTRÖM, 1978; NASS, 2012; GOINES; HAGLER, 2007; POPESCU; MOHOLEA, 2010).

Encontramos a poluição sonora tanto nas ruas quanto dentro de escritórios, salas de aula, igrejas, teatros e das habitações indistintamente, sendo encontrada em diversas intensidades em qualquer ambiente que se considerar. Desta forma podemos ter, para um determinado ambiente, fontes internas de ruídos e fontes externas de ruído que, devido à capacidade de propagação e transmissão do som, adentram a este ambiente somando-se com as fontes internas. Podemos então caracterizar a poluição sonora como a

atuação conjunta dos ruídos emitidos pelos equipamentos em um ambiente mais o vazamento ou transmissão do ruído de outros ambientes contíguos ou externos (LACERDA *et al*, 2005).

Uma das apresentações da poluição sonora de maior destaque e que tem gerado uma grande preocupação nos grandes centros urbanos é o ruído de tráfego rodoviário, causado pelos veículos em deslocamento nas estradas e vias públicas. No Brasil, nas 12 maiores cidades, nos últimos 10 anos a frota de automóveis aumentou em 77%, somando mais de 22 milhões de automóveis, e a frota de motocicletas triplicou, chegando a mais de 18,3 milhões de motocicletas. Como não houve uma grande expansão nestes centros urbanos este crescimento significa um forte aumento no nível de ruído gerado pela frota de veículo destas cidades (BLUHM, 2004; ANTONELLI, 2013; DETRAN-PR, 2013).

A cidade de Curitiba, no estado do Paraná, está entre estas cidades em que ocorreu uma grande expansão da frota de veículos. Durante os anos de 2001 e 2011 houve um aumento de 91,7% na frota de automóveis e 273,4% na frota de motocicletas, possuindo hoje uma taxa anual de crescimento da frota de veículos em circulação de 5,6% ao ano. Este aumento da frota de veículos torna-se ainda mais perceptível na região central da cidade e em alguns bairros onde ocorre uma forte expansão na ocupação residencial e comercial. Um exemplo deste cenário é na região noroeste da cidade, denominada de Ecoville, onde ocorre uma forte expansão demográfica caracterizada por novos edifícios residenciais e do surgimento de uma rede comercial e de serviços para atender esta crescente população de classe média/alta, resultando em um intenso tráfego de veículos particulares e de transporte público pelas principais vias desta região (ANTONELLI, 2013; DETRAN-PR, 2013).

Nesta região encontra-se em instalação um campus universitário, que apesar de contar com uma área de 58.000m², visa abrigar mais de 6.000 alunos, professores e funcionários. Seria de se esperar que um centro universitário fosse localizado em um local silencioso, apropriado para as atividades de ensino e pesquisa, mas seguindo uma tendência global de inserir os campi universitários dentro dos centros urbanos, aproximando a universidade da população, a UTFPR está implantando este campus dentro de uma das regiões que mais cresce na cidade de Curitiba. Como consequência desta

medida temos um Campus Universitário circundado por vias expressas que comunicam esta região com o centro da cidade. Fica evidente que o problema de ruído devido ao tráfego rodoviário, que tanto preocupa a cidade em seu desenvolvimento, será uma constante dentro deste centro universitário (NEVES *et al*, 2012; UTFPR, 2013; BEMPARANA, 2011).

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho avalia o impacto ambiental sonoro gerado pelo tráfego rodoviário dentro do campus universitário Ecoville da UTFPR em dois diferentes cenários. O primeiro cenário no atual estágio de implantação e o segundo cenário quando o campus já estiver plenamente instalado, conforme o Plano Diretor do Campus Ecoville.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterização do Campus Ecoville da UTFPR;
- Caracterizar a distribuição do ruído de tráfego no Campus Ecoville no estágio atual de implantação;
- Caracterizar a distribuição horizontal do ruído de tráfego no Campus Ecoville em um cenário futuro de pleno funcionamento;
- Caracterizar a distribuição vertical do ruído de tráfego no Campus Ecoville em um cenário futuro de pleno funcionamento;
- Caracterizar a qualidade acústica nos setores avaliados por meio da distribuição do ruído de tráfego sobre a fachada dos edifícios encontrados no Campus Ecoville;
- Avaliar o impacto do ruído de tráfego no Campus Ecoville confrontando com a legislação vigente Lei Municipal de Curitiba nº 10.625.

1.3 JUSTIFICATIVAS DO TRABALHO

O ruído de fundo elevado em uma sala de aula contribui para uma diminuição da qualidade acústica do ambiente de aprendizagem dificultando a compreensão dos conteúdos transmitidos pelo professor além de aumentar o estresse em alunos e professores. Com a presença de elevados níveis de ruído externos às salas de aulas devido ao tráfego rodoviário torna-se proibitivo a abertura de janelas para ventilação, causando um impasse entre possuir dentro da sala de aula uma melhor qualidade do ar ou uma melhor qualidade acústica (SHIELD; DOCKRELL, 2008; BEDOYA, 2007; ZANNIN; FERREIRA, 2009; SALA; VILIJANEN, 1995; XIE *et al*, 2011; ALVES, 2009; HADDZI-NIKOLOVA *et al*, 2013; AUGUSTYNSKA *et al*, 2010; MONDAL, 2013).

Conhecer a distribuição dos níveis de ruído externo aos ambientes de aprendizagem, pesquisa e administrativos do campus universitário, tanto no presente quanto em um futuro próximo, torna-se imperativo para a qualidade da produção da instituição no local em referência. Se os investimentos nas instalações forem baseados apenas na percepção atual do ruído externo sem uma adequada projeção levando em conta tanto a ocupação futura do espaço quanto o crescimento do fluxo de veículos nas avenidas no entorno do campus universitário, pode levar a construção de uma estrutura física insuficiente para garantir um ambiente propício para o ensino e pesquisa.

Este trabalho irá fornecer todos os dados necessários para o correto dimensionamento das estruturas físicas e para o desenvolvimento de soluções adequadas para o problema de ruído urbano para o Campus Ecoville da UTFPR, tanto no presente quanto no futuro.

1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As medições, simulações e análises foram realizadas no período diurno por este apresentar um trânsito mais intenso resultando em um maior impacto ambiental do ruído de tráfego sobre o campus universitário.

Para a composição do cenário presente foi considerado o estado de implantação do campus universitário no mês de novembro de 2012, quando da realização das medições e contagem de veículos nas vias de trânsito.

Para a composição do cenário futuro foi considerado o Plano Diretor atual, mesmo que este possa não ser totalmente cumprido pela universidade ou ainda possa ser modificado no correr dos anos.

Na composição do ruído ambiental foi considerado apenas o ruído gerado pelo tráfego de veículos rodoviários. As demais possíveis componentes do ruído ambiental não foram encontradas na região avaliada (AMUNDEN; KLEABE, 2005).

Na simulação computacional foi escolhido o modelo de cálculo conforme a norma ISO 9613 -1/2 Road por ser o mais utilizado em simulações de ruído rodoviário nas cidades (ZANNIN *et al*, 2003; Paz, 2004; PAZ *et al*, 2005; HOBAN; TSUNOKAWA, 1997; FARCAS, 2008; GOLMOHAMMADI *et al*, 2009; KLAEBOE *et al*, 2006).

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1 CONCEITO FÍSICO DO SOM

Dentro dos estudos da física o som é definido como resultado da oscilação da pressão em um meio elástico causado por uma superfície vibrando ou por um fluxo turbulento em um fluido. Esta variação ocorre de forma cíclica causando um movimento ondulatório das partículas elásticas do meio em torno de sua posição de equilíbrio. A onda sonora se desloca em um sentido perpendicular a estas oscilações, caracterizando uma onda de propagação transversal, figura 1 onda transversal, (GOELZER *et al*, 2001; BIES; HANSEN, 2003).

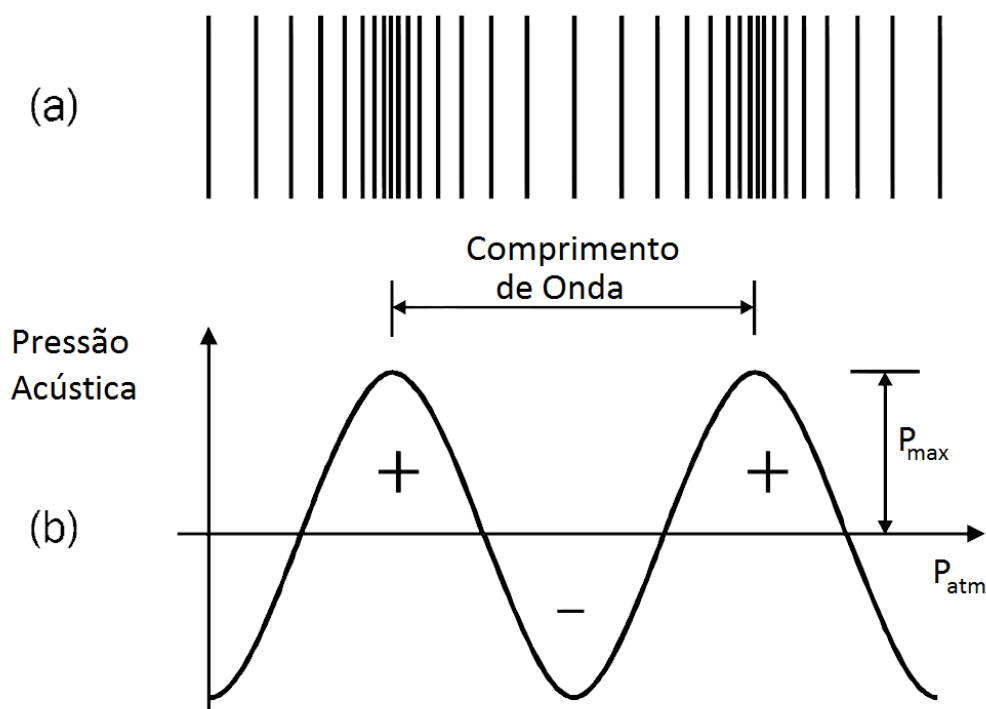


FIGURA 1 - ONDA SONORA:

A) VARIAÇÃO DA PRESSÃO NO MEIO, OSCILANDO ENTRE RAREFAÇÃO E COMPRESSÃO.

B) GRÁFICO CORRESPONDENTE REPRESENTANDO EM UMA CURVA AS MESMAS REGIÕES DE RAREFAÇÃO E COMPRESSÃO.

Fonte: Adaptado de Goelzer et al, (2001).

As ondas sonoras são caracterizadas pelos seguintes elementos (GOELZER *et al*, 2001):

- Amplitude da variação da pressão no meio: descreve a pressão máxima (P_{max}) ou a raiz da média quadrática da pressão instantânea (P_{RMS}), expressa em micro Pascal (mPa);
- Comprimento de onda (λ): descreve a distância, em metros (m), percorrida pela onda a cada ciclo de variação da pressão;
- Período (T): descreve o tempo, em segundos (s) transcorrido para cada ciclo de variação da pressão;
- Frequência (f): descreve a quantidade de variações da pressão que ocorrem durante um segundo, expresso por ciclos por segundos ou Hertz (Hz).

Relações entre os elementos da onda sonora:

- A frequência de oscilação de uma onda é igual ao período desta onda, equação 1;

$$f = 1/T \quad (1)$$

- A velocidade de propagação de uma onda sonora, c , é a dada pela frequência de oscilação desta onda, f , multiplicada pelo comprimento de onda, λ , expressa em metros por segundo (m/s), equação 2. A velocidade de propagação do som no ar, a uma temperatura de 20°C e a uma pressão atmosférica de 1 atm, é de 343m/s:

$$c = f \cdot \lambda \quad (2)$$

2.2 SOM E RUÍDO

Podemos também definir som como sendo a sensação produzida no ouvido pelas pequenas flutuações na pressão do ar causada por uma onda sonora. Portanto além da definição física temos a percepção recebida no ouvido causada pelo evento sonoro. O ouvido humano tem capacidade de discernir eventos sonoros situados entre as frequências de 20Hz a 20.000Hz, compondo a chamada frequência audível.

Dentro desta definição ainda pode-se expandir o conceito de som para um evento sonoro desejado ou agradável, que se busca ou que se tem por finalidade. Em contrapartida surge o conceito de som indesejável, que causa incomodo ou atrapalha a percepção de um sinal sonoro que se deseja ouvir. A este som indesejado chamamos de Ruído (GOELZER *et al*, 2001; BIES; HANSEN, 2003).

O Ruído pode ser classificado de acordo com a origem, podendo ser ruído industrial, ruído ambiental, ruído de construção, ruído interno às habitações ou escritórios e ruído devido a atividades de entretenimento, (KINSLER *et al*, 1982; BERGLUND; LINDVALL, 1995; BIES; HANSEN, 2003).

A indústria gera diversos problemas de ruído, tanto no ambiente interno quanto no ambiente externo a esta Indústria. Este ruído é gerado por máquinas, rotativas ou alternativas, fluxo de gás ou de vapor e pela movimentação de materiais. O espectro deste ruído pode ser predominantemente baixo ou alto, como motores e redutores, pode possuir componentes tonais, como apitos ou descarga de uma válvula, pode ser impulsivo, como uma prensa, ou contínuo como uma correia transportadora.

O ruído ambiental tem nas atividades de transporte como sua principal fonte geradora, sendo constituído de tráfego rodoviário, ferroviário e aéreo. Como regra geral, veículos maiores, pesados e mais potentes emitem mais ruído do que veículos menores e mais leves.

A construção civil, os trabalhos em estradas e de escavação podem causar consideráveis emissões de ruído. Uma variedade de ruídos vêm de guindastes, tratores, betoneiras, britadeiras, motores a diesel ou outros processos de trabalho. Geralmente estes equipamentos não possuem nenhuma

ou pouca proteção à emissão de ruído, gerando problemas para os funcionários da obra e para a população no entorno da obra.

Em áreas residenciais ou em escritórios o ruído pode ter origem a partir de dispositivos mecânicos internos como ar condicionado, impressoras ou bomba d'água ou ainda procedente de conversas, músicas e sons gerados por vizinhos.

Os ruídos provenientes das áreas de lazer, como parques de diversões, bares ou casas de música, jogos eletrônicos e festas podem causar um ruído extremamente excessivo.

2.2.1 Tipos de Ruídos

A Norma ISO 2204/1973 classifica o ruído em relação ao seu nível de pressão sonora nos seguintes tipos (GOELZER *et. al*, 2001):

Ruído Contínuo Estacionário: ruído com variações de níveis desprezíveis, em torno de 2dB, durante o período de observação, figura 2;

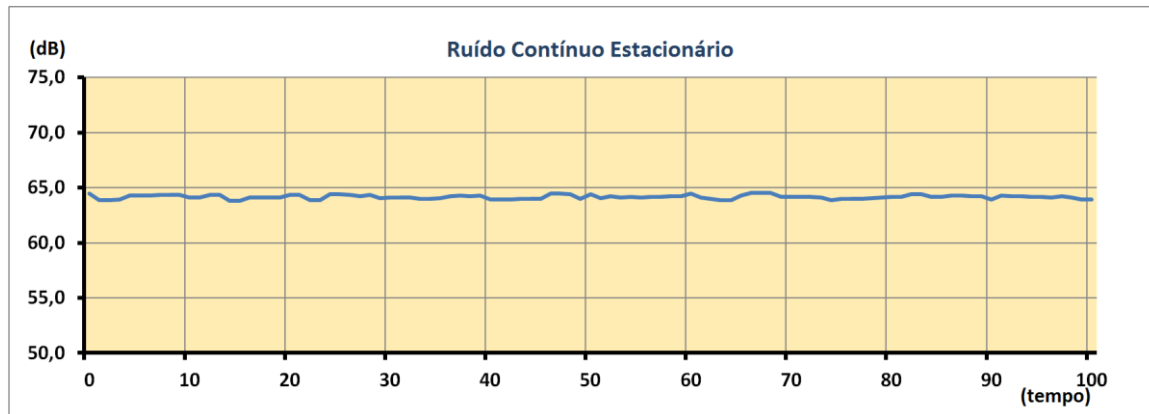


FIGURA 2 - RUÍDO CONTÍNUO ESTACIONÁRIO

Fonte: o Autor (2013)

Ruído Contínuo não Estacionário: ruído cujo nível varia significativamente, com uma variação irregular em torno de 10dB, durante o período de observação, figura 3;

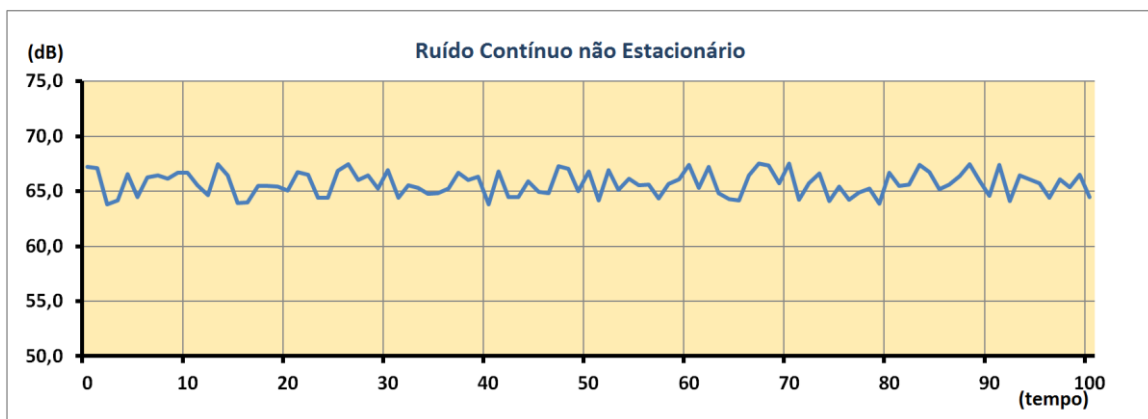


FIGURA 3 - RUÍDO CONTÍNUO NÃO ESTACIONÁRIO

Fonte: o Autor (2013)

Ruído Contínuo Flutuante: ruído cujo nível varia periodicamente de um valor apreciável, acima de 10dB, durante o período de observação, Figura 4;

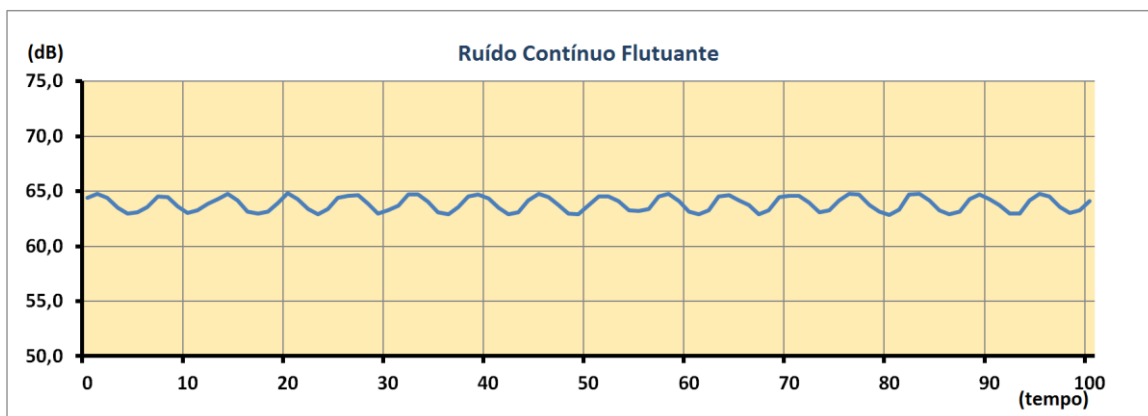


FIGURA 4 - RUÍDO CONTÍNUO FLUTUANTE

Fonte: o Autor (2013)

Ruído intermitente: ruído cujo nível oscila entre o nível de ruído de fundo e um nível de ruído elevado várias vezes durante o período de observação, Este ruído pode ser considerado como um ruído constante caso o intervalo das oscilações sejam mais longos, com uma duração igual ou superior ao período de observação, figura 5;

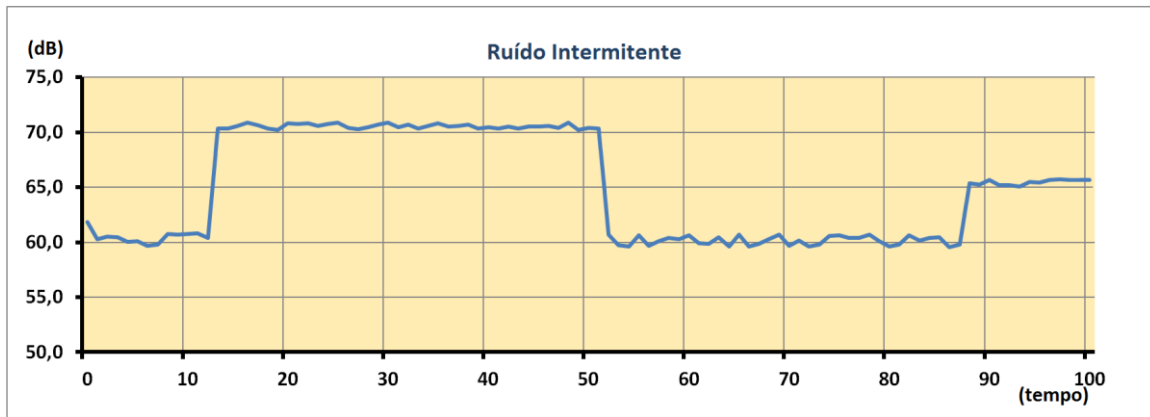


FIGURA 5 - RUÍDO INTERMITENTE

Fonte: o Autor (2013)

Ruído Contínuo Flutuante: ruído que se apresenta em picos de energia acústica de duração inferior a um segundo em intervalos superiores a um segundo, figura 6.

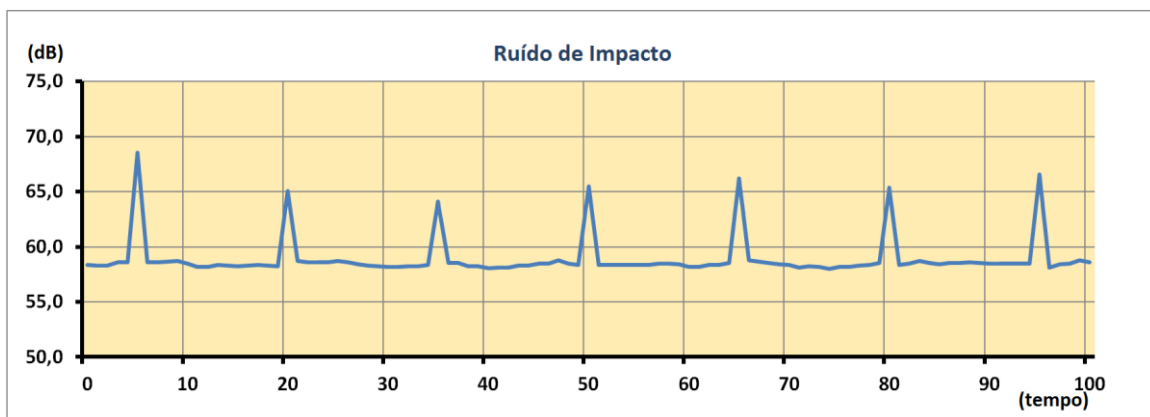


FIGURA 6 - RUÍDO DE IMPACTO

Fonte: o Autor (2013)

2.3 POTÊNCIA SONORA E INTENSIDADE SONORA

Como a transmissão sonora em um meio elástico trata-se da transmissão de energia na forma de onda em um espaço tridimensional, temos que esta potência sonora W (W/m^2) pode ser expressa pelo vetor da intensidade sonora \vec{I} que atravessa, perpendicularmente, um elemento de área, equação 3 (KINSLER *et al*, 1982; GOELZER *et al*, 2001).

$$W = \int \vec{I} * \vec{n} dA \quad (3)$$

Esta Intensidade sonora é relacionada com a raiz quadrática média da pressão sonora P_{RMS} , conforme equação 4, onde ρ é a densidade do ar (Kg/m^3) e c a velocidade do som em (m/s). Este termo ρc também é chamado de impedância acústica e vale $414 Ns/m^3$ a $20^\circ C$ a uma pressão atmosférica de $1 atm$ (KINSLER *et al*, 1982; GOELZER *et al*, 2001).

$$\vec{I} = \frac{P_{RMS}^2}{\rho c} \quad (4)$$

Para uma transmissão espacial esférica, uniforme em todas as direções, temos a potência sonora W (W/m^2) expressa pela equação 5, onde r é a distância à partir da fonte sonora (KINSLER *et al*, 1982; GOELZER *et al*, 2001).

$$W = 4\pi r^2 \vec{I} \quad (5)$$

2.4 NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Como o ouvido humano pode detectar uma extensa gama de energia sonora entre a menor pressão sonora audível ou limiar da audição, cerca de $20 \cdot 10^{-6} Pa$, e o maior nível de pressão sonora admissível ou limiar da dor, cerca de $60 Pa$, foi estabelecido como medida desta atividade sonora uma escala logarítmica à partir do limiar da audição, de acordo com a equação 6, chamado Nível de Pressão Sonora, L_p sendo multiplicado por 10 e expresso em decibel (dB), A pressão sonora de referencia P_{ref} é a do limiar da audição $20 \cdot 10^{-6} Pa$ (KINSLER *et al*, 1982, GOELZER *et al*, 2001; BERGLUND; LINDVALL 1995; HARRIS, 1998).

$$L_p = 10 \text{Log}_{10} \frac{P_{RMS}^2}{P_{ref}^2} \quad (6)$$

Para fins de entendimento de como esta equação do cálculo do Nível de Pressão sonora atua é apresentada na Tabela 1 com diversos valores de L_p calculados para sucessivos valores de P , Pressão Sonora, considerando como Pressão de referência, P_{ref} , o limiar auditivo de $20 \mu Pa$:

TABELA 1 - VALORES DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA CALCULADOS À PARTIR DA PRESSÃO SONORA, PARA UMA PRESSÃO SONORA DE REFERÊNCIA DE 20MPA

P - Pressão Sonora	L_p - Nível de pressão Sonora
(μPa)	(db)
20,00	0
63,25	10,0
200,00	20,0
632,45	30,0
2.000,00	40,0
6.324,51	50,0
20.000,00	60,0
63.244,64	70,0
200.000,00	80,0
632.441,62	90,0
2.000.000,00	100,0
6.324.487,21	110,0
20.000.000,00	120,0

Fonte: (HARRIS, 1998).

Para se aproximar do tempo de reação e percepção do nosso sistema de audição os aparelhos medidores do nível de pressão sonora têm um tempo de resposta chamado de padrão ou rápido, correspondente a um tempo de medição de 0,125 s. Os medidores do nível de pressão sonora também possuem outra medida, com um tempo de aquisição de 1,0 s para obter uma melhor média do

valor do nível de pressão sonora chamado de medição em resposta lenta (BERGLUND; LINDVALL, 1995; HARRIS, 1998).

2.5 ESPECTRO SONORO

Uma onda sonora como apresentada na figura 1 chama-se tom puro, representando uma única frequência. As ondas sonoras dos eventos comumente encontrados não possuem este aspecto, sendo chamada de onda complexa, figura 7-e. Uma onda complexa é composta de diversas frequências que se somam. Dentre estas frequências existe uma frequência fundamental, figura 7-a, que caracteriza a frequência F deste som. As demais frequências são chamadas de harmônicas, figura 7-c, resultantes da multiplicação da frequência fundamental F por um número inteiro n . Para $n=1$ temos a primeira frequência harmônica, que é a própria frequência fundamental, para $n=2,3,\dots$ temos as demais infinitas frequências harmônicas. Uma análise do conteúdo espectral de uma onda sonora complexa é realizada por meio de uma transformada de Fourier, onde esta onda será apresentada no domínio da frequência ao invés do domínio do tempo, figura 7-b para onda fundamental apenas e figura 7-d para uma onda fundamental mais duas ondas harmônicas. Nestes gráficos temos representada a amplitude de cada onda por banda de frequência. Para uma onda sonora complexa, figura 7-e, o gráfico no domínio da frequência é apresentado em bandas de frequências, conforme figura 7-f (GOELZER *et al*, 2001; BIES; HANSEN, 2003; HARRIS, 1998).

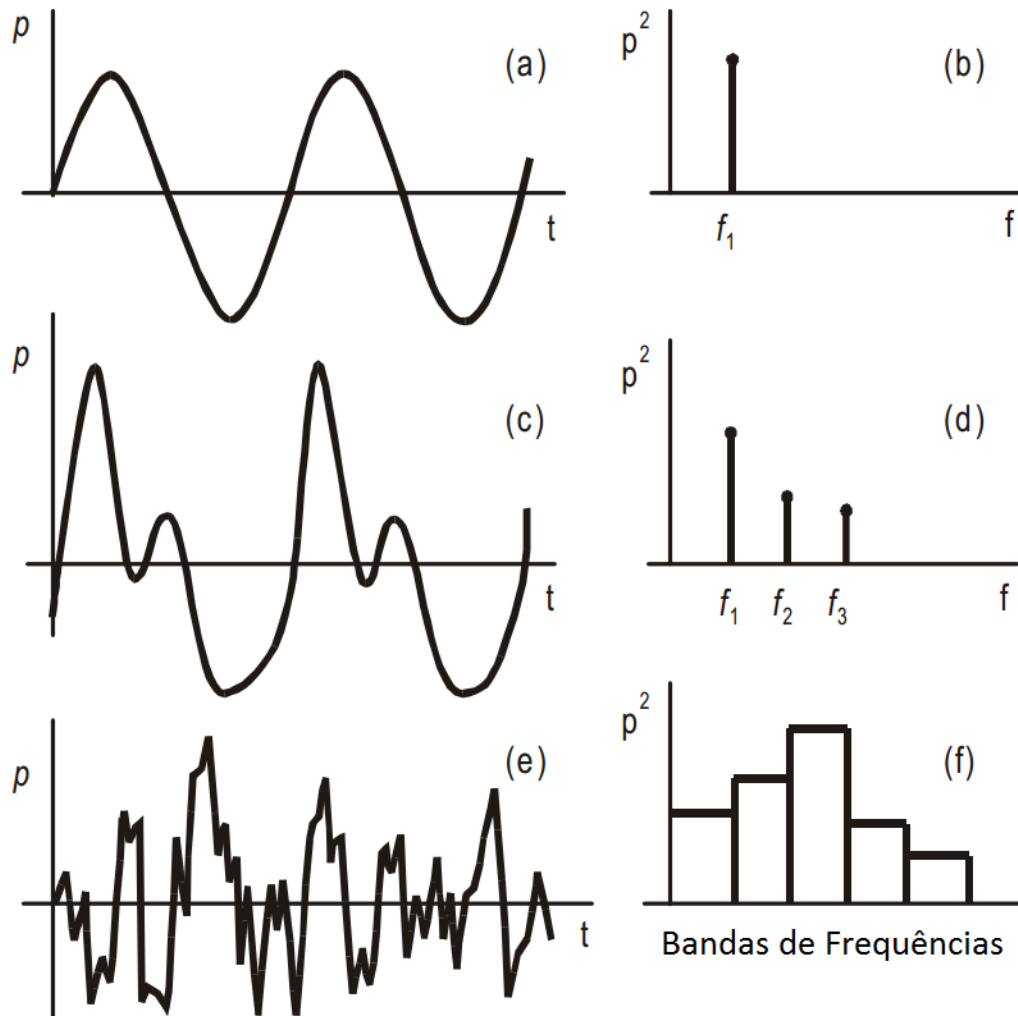


FIGURA 7 - ANÁLISE DE FREQUÊNCIA PARA UMA ONDA SONORA COMPLEXA (E) APRESENTADA NO DOMÍNIO DO TEMPO (A-C-E) E NO DOMÍNIO DA FREQUÊNCIA (B-D-F).

Fonte: Adaptado de Goelzer et al, (2001).

2.6 CAMPO SONORO

O campo sonoro é o meio pelo qual o som é transmitido, caracterizando-se como uma perturbação nas variáveis em regime permanente que descrevem este meio. Para um fluido essas variáveis são a pressão, a energia interna, a temperatura e a densidade, sendo que destas, a pressão é variável que melhor descreve um campo sonoro. Apesar de ter uma natureza escalar a pressão em um ponto é suficiente para descrever este campo sonoro e por isso tem com

vantagem a necessidade de necessitar poucas medições (GOELZER *et al*, 2001; BIES; HANSEN, 2003).

2.6.1 Campo livre

Região do espaço onde o som propaga-se livremente sem nenhum obstáculo e sem presença de reflexão sonora;

2.6.2 Campo Próximo

Região próxima à fonte sonora onde a pressão acústica e a velocidade da partícula estão defasadas. Este campo é limitado a aproximadamente três vezes a maior dimensão da fonte sonora;

2.6.3 Campo Distante

Este campo começa à partir do campo próximo e estende-se até o infinito. Entre os dois campos existe uma transição gradual das características do campo. Neste campo existe uma redução em 6dB no nível de pressão sonora com o dobro da distância, na maioria dos casos;

2.6.4 Campo Direto

Região do campo sonoro onde não existe nenhum obstáculo à transmissão sonora nem tão pouco a ação de ondas refletidas. Esta região do campo sonoro possui um comportamento semelhante a um campo livre.

2.6.5 Campo Reverberante

É a região do campo sonoro onde o som emitido pela fonte sonora sofre ao menos uma reflexão por uma superfície em um ambiente fechado.

2.7 FONTES SONORAS

Uma fonte sonora é um equipamento ou um transdutor, onde existe uma transformação de algum tipo de energia em energia sonora. As fontes sonoras são qualificadas em função da forma como ocorre a irradiação do som, podendo ser fonte pontual, fonte linear (GOELZER *et al*, 2001; BIES; HANSEN, 2003).

2.7.1 Fonte Pontual (Esférica)

Uma fonte pontual, podendo ser esférica ou semiesférica, irradia ondas sonoras esféricas, concêntricas e isotrópicas, produzindo uma intensidade sonora igual em todas as direções.

As ondas sonoras irradiadas por uma superfície esférica formam frentes de ondas esféricas, cujas amplitudes de pressão são inversamente proporcionais à distância do centro da esfera. Desta forma, a pressão de uma onda a uma distância $2r$ é metade da pressão desta mesma onda a uma distância r , resultando em uma queda de 6 dB no nível de pressão sonora entre estes pontos. Um avião voando, figura 8, é um exemplo de uma fonte esférica que, devido às proporções da distância percorrida pela onda sonora, é considerado como um ponto emissor (GOELZER *et al*, 2001; BIES; HANSEN, 2003).

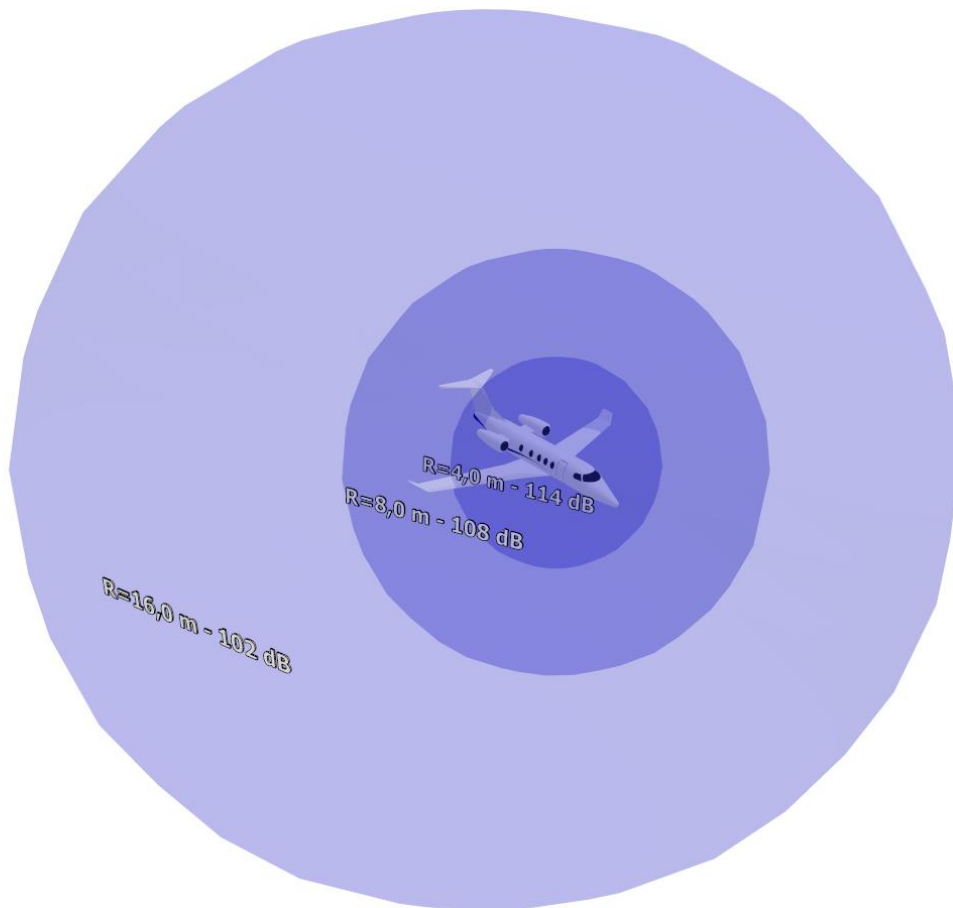


FIGURA 8 – AVIÃO COMO FONTE ESFÉRICA R=4,0 M – 114 DB; R = 8,0 M – 108 DB; R = 16,0 M – 102 DB.

Fonte: o Autor (2013)

2.7.2 Fonte Linear (Cilíndrica)

Uma fonte linear, podendo ser cilíndrica ou semicilíndrica, irradia ondas sonoras cilíndricas, concêntricas e isotopicamente cilíndricas. Apresenta uma redução de 3 dB no nível de pressão sonora com o dobro da distância da fonte sonora. Exemplo de fonte linear, figura 9, é estrada com veículos em movimento (GOELZER *et al*, 2001; BIES; HANSEN, 2003).

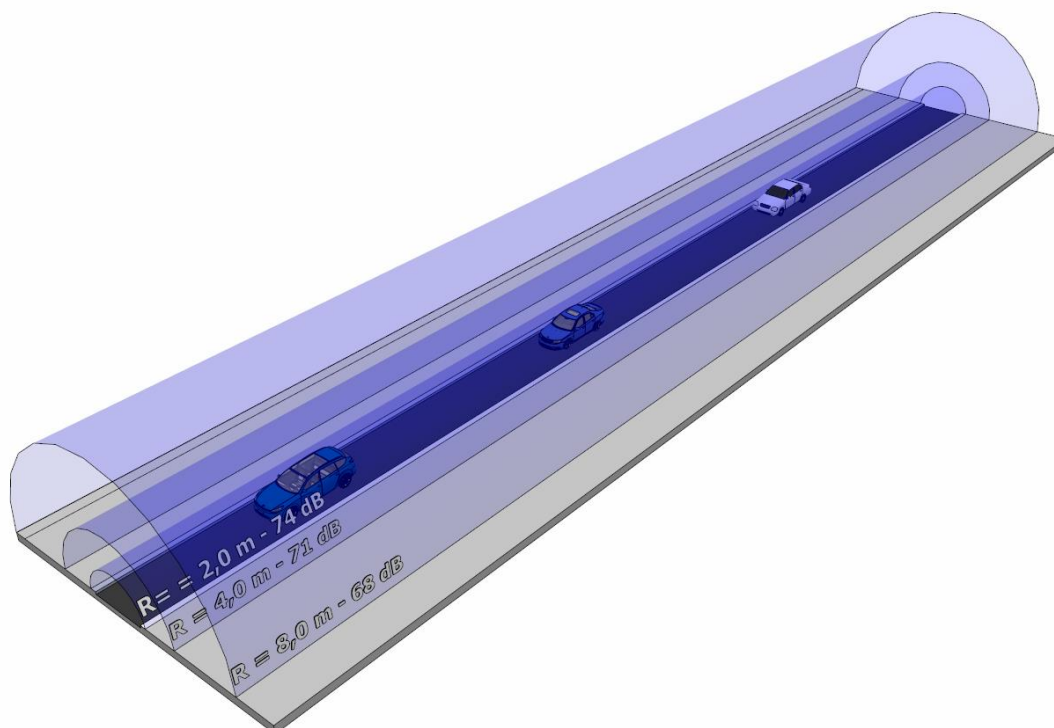


FIGURA 9 - FONTE LINEAR - LEITURA A 2,0 M = 74,0 DB ; 4,0 M = 71,0 DB ; 8,0 M =68,0 DB
 Fonte: o Autor (2013)

2.8 PSICOACÚSTICA

Para o estudo do ruído e sua ação no ser humano é necessário conhecer não apenas as características físicas do som, mas também como o ser humano responde a este estímulo sonoro. Esta resposta depende principalmente da frequência e da amplitude deste estímulo sonoro e também da idade e condições de saúde da pessoa sob exposição (GOELZER *et al*, 2001).

2.8.1 Curvas de ponderação

Apesar do sistema auditivo humano conseguir perceber frequências desde 20 Hz até 20.000 Hz esta percepção não ocorre de igual modo apresentando diferentes atenuações para cada frequência. As curvas de *Loudness*, figura 10, descrevem este comportamento do sistema auditivo humano para diferentes níveis de pressão sonora, sendo tomado como base o nível de pressão sonora a 1.000 Hz. Estas curvas foram, obtidas por meio de testes psicoacústico onde os indivíduos julgavam que o nível apresentado para diferentes frequências era o mesmo nível de uma frequência padrão a 1.000 Hz.

A curva MAF representa o limiar da audição humana (KINSLER *et al*, 1982; GOELZER *et al*, 2001; BERGLUND; LINDVALL, 1995; BIES; HANSEN, 2003).

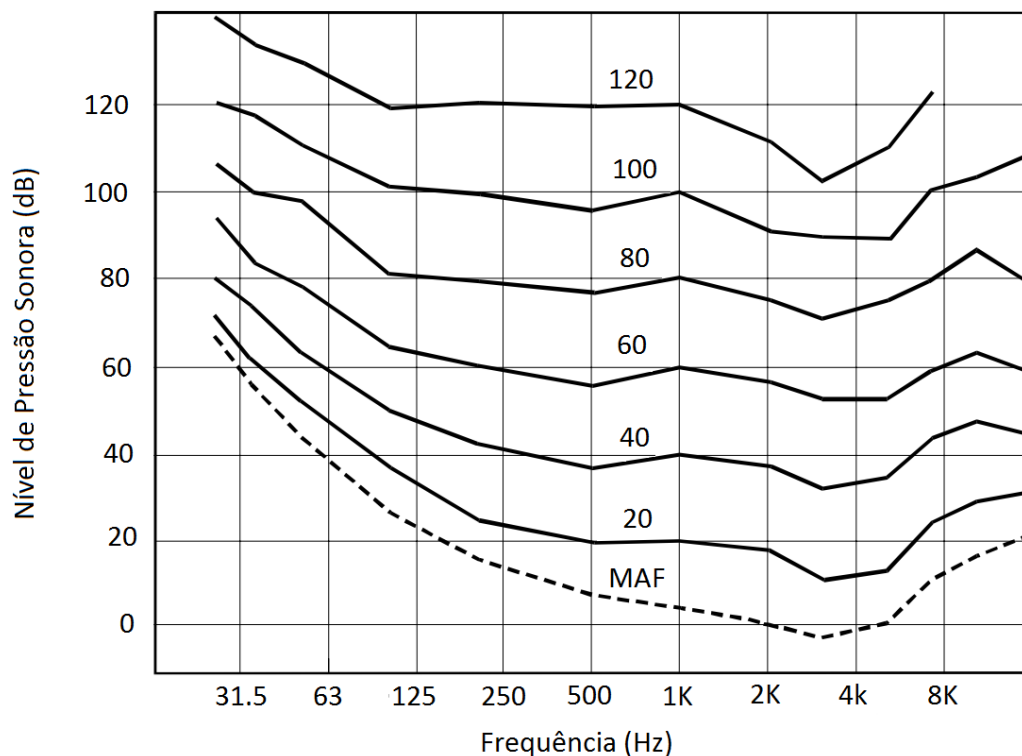


FIGURA 10 - CURVA DE IGUAL LOUDNESS,

Fonte: Adaptado de Goelzer et al, (2001)

Devido a característica do ouvido humano responder de maneira diferente as frequências do espectro sonoro foram estabelecidas curvas de ponderação ou filtros amplitude por frequência no intuito de aproximar os valores obtidos do Nível de Pressão Sonora de como o ouvido humano percebe os sons.

Foram tomadas como base as curvas de igual *Loudness* 40 e 100, para a criação das curvas de ponderação “A” e “C”, respectivamente aplicando os valores da tabela 2 para redução dos níveis calculados ou amostrados.

TABELA 2 - VALORES DE PONDERAÇÃO PARA OS FILTROS "A" E "C",

Frequência (HZ)	Ponderação	
	A	C
31.5	- 39	- 3
63	- 26	- 1
125	- 16	0
250	- 9	0
500	- 3	0
1.000	0	0
2.000	+ 1	0
4.000	+ 1	- 1
8.000	- 1	- 3

Fonte: (GOELZER et al, 2001)

Estes valores da tabela 2 podem também ser apresentados na forma de gráfico, figura 11.

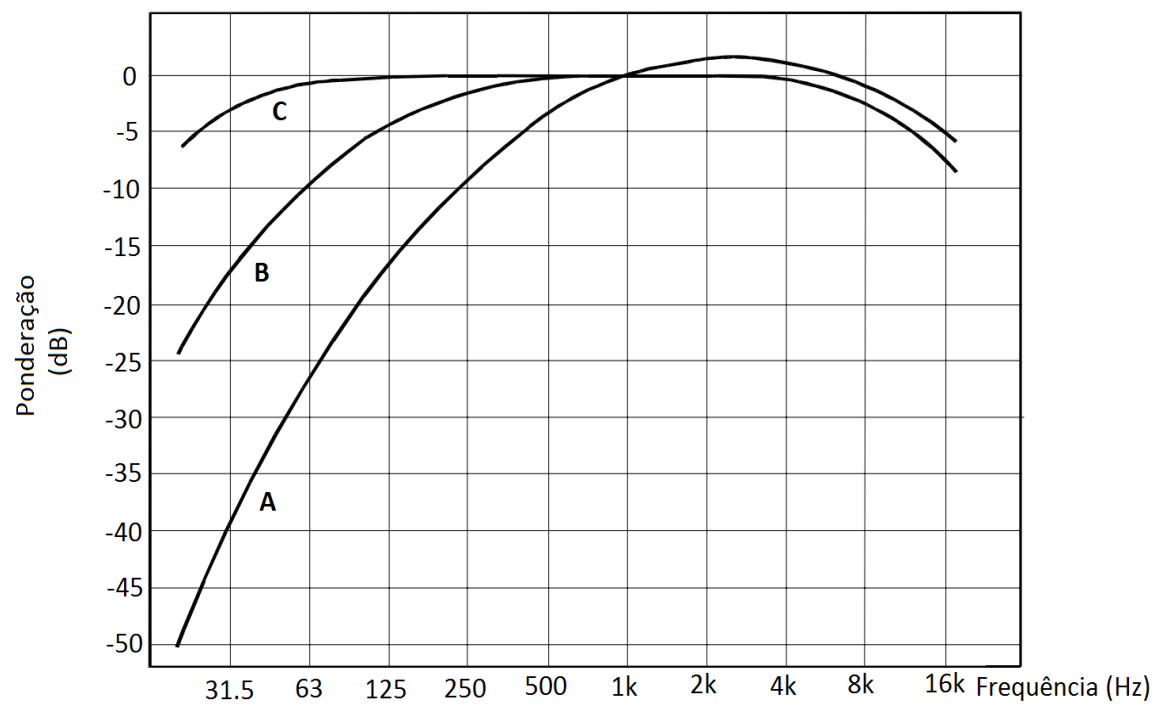


FIGURA 11 - CURVAS DE PONDERAÇÃO

Fonte: (GOELZER et al, 2001)

Os valores calculados ou medidos deverão indicar o tipo de filtro utilizado, sendo expressos em dB(A) ou dB(C). Caso não seja utilizado nenhum destes filtros o valor é chamado de linear ou sem ponderação, algumas vezes designado pela letra “Z” dB(Z) ou dB Lin (GOELZER *et al*, 2001).

2.8.2 Efeito Subjetivo da Mudança do Nível de Pressão Sonora

O ouvido humano, além da percepção diferenciada dos níveis de pressão sonora nas diferentes frequências, também percebe de uma maneira diferente as variações na energia sonora (pressão ao quadrado). Enquanto matematicamente o dobro do nível de pressão sonora é sempre um acréscimo de 3 dB, para o ouvido humano esta percepção de dobrar o nível de energia sonora é expresso por um acréscimo de 10 dB, sendo que uma variação de 3 dB é levemente percebida, sendo considerada a menor variação perceptível pelo ouvido humano (GOELZER *et al*, 2001). A tabela 3 mostra qual a percepção subjetiva para diversas variações do nível de pressão sonora

TABELA 3 - PERCEPÇÃO SUBJETIVA DA VARIAÇÃO DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA PARA DIVERSAS VARIAÇÕES REAIS DO NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Variação no Nível de Pressão Sonora (dB)	Variação na Potencia Sonora (Real)	Variação Aparente (dB)
3	2x (dobro)	Limite da percepção
5	3x (triplo)	Claramente perceptível
10	10x	O dobro da potencia (2x)
20	100x	Extremamente alto

Fonte: (GOELZER *et al*, 2001)

2.9 NÍVEL DE SOM CONTÍNUO EQUIVALENTE

O Nível de Som Contínuo Equivalente, também conhecido como L_{eq} , deverá ser aplicado quando não temos um ruído contínuo estacionário, onde será realizada uma média temporal dos valores amostrados. Quanto maior forem as variações possíveis maior deverá ser o tempo de amostragem.

Portanto partindo do princípio que o som é uma forma de energia, para a obtenção do L_{eq} considera-se um nível de ruído contínuo que possua a mesma energia acústica que os níveis originais, durante um período de tempo. O L_{eq} é, desta forma, definido pela equação 7, ou graficamente na figura 12:

$$L_{eq} = 10 \cdot \text{Log}_{10} \cdot \int_0^t \frac{P_{\alpha}(t)}{P_o} \cdot dt \quad (7)$$

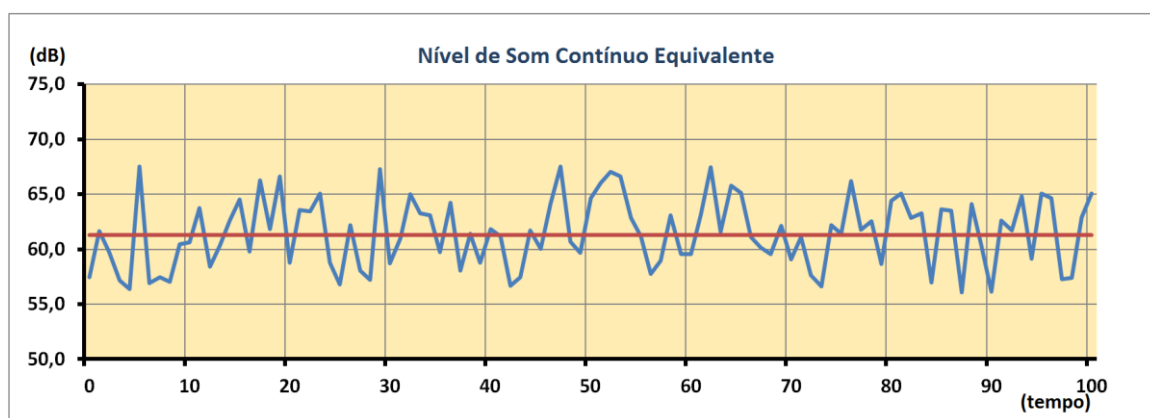


FIGURA 12 - NÍVEL DE SOM CONTÍNUO EQUIVALENTE - EM VERMELHO O VALOR DO L_{eq} E EM AZUL O VALOR AMOSTRADO.

Fonte: o Autor (2013)

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RUÍDO AMBIENTAL

3.1.1 Definição de Ruído Ambiental

Segundo a Organização Mundial da Saúde, das Nações Unidas, (WHO, 2011) a poluição ambiental, ou ruído ambiental, é, juntamente com a poluição do ar e da água, um dos problemas ambientais que mais atingem a população do planeta, principalmente nos grandes centros urbanos, onde o problema cresce cada vez mais (ZANNIN *et al*, 2003; Paz, 2004; PAZ *et al*, 2005; LACERDA, 2005; RIBAS, 2007).

A poluição ambiental é causada pelo ruído causado pelos sistemas de transporte, instalações industriais e comerciais, obras de construção civil, instalações de entretenimento e sistemas de propaganda e podem ser subdivididas em três grupos:

- Fontes estacionárias: são instalações, máquinas ou canteiros de obras que possuem uma localização ou posição física determinada. Apesar de ser chamado de ponto pode ser desde um complexo industrial até um equipamento de ar condicionado, dependendo das condições de escala da região analisada.
- Fontes móveis: são fontes geradoras de ruído que se movem no espaço, geralmente serve para designar os diversos modais do sistema de transporte de carga e passageiros.
- Fontes coletivas: é quando o somatório do ruído gerado em uma área ou espaço físico é causado por diversos elementos geradores de ruído, fixos ou móveis. Neste caso é considerado como uma única fonte de ruído, mesmo tendo diversos geradores internos de ruído, é o caso de ruas e parques com aglomeração de pessoas.

Segundo uma pesquisa realizada na Suécia, a principal fonte de ruído ambiental é o ruído rodoviário ou ruído de tráfego, com 78% do ruído gerado. Ao consideramos as fontes móveis de ruído, englobando os principais modais de

transporte, este percentual aumenta para 86%, figura 13, (AMUNDEN; KLEABE, 2005).

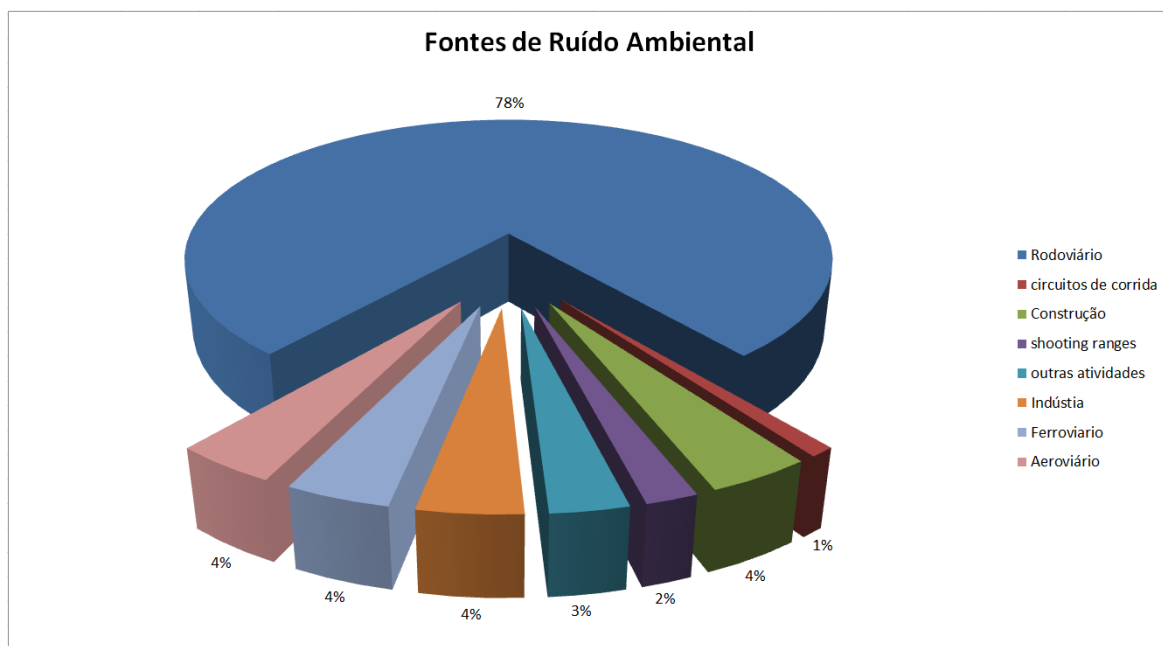


FIGURA 13 - COMPOSIÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL

Fonte: o Autor (2013)

3.1.2 Ruído de Tráfego

O ruído de tráfego, responsável por cerca de 2/3 de todo ruído urbano gerado, é causado pelo deslocamento de automóveis, caminhões e motocicletas por rodovias, avenidas e ruas. Desta forma as regiões mais afetadas pelo ruído de tráfego são as margens de grandes rodovias e eixos de transporte e os grandes centros urbanos, com elevada densidade malha rodoviária.

Desta forma o ruído de tráfego tem despertado uma maior atenção de agências ambientais e de pesquisadores, conduzindo a legislações, normativas, metodologias de medição e avaliação e no desenvolvimento de modelos de predição que possibilitem prever e avaliar os níveis de ruído nos locais a serem investigados (HOBAN; TSUNOKAWA, 1997; FARCAS, 2008; SALOMONS *et al*, 2011; MURPHY; KING, 2010; GOLMOHAMMADI *et al*, 2009; MAKAREWICZ; GALUZKA, 2011-A; MAKAREWICZ; GALUZKA, 2011-B; KLAEBOE *et al*, 2006; DONATO; MORRI, 2001; CALIXTO *et al*, 2003; SUBRAMANI *et al*, 2012; ZHAO, *et al*, 2012)

O ruído de tráfego por sua vez, está associado a quatro diferentes fatores:

- Ruído devido aos veículos: este fator depende basicamente do veículo, seus componentes e condições de funcionamento. Varia de acordo com o tipo e potência do motor, sistema de exaustão, tipo de suspensão, regime de trabalho do veículo (em aceleração ou frenagem), sistema de freios, condições do tráfego (fluindo com mais velocidade ou engarrafado) e condições gerais de manutenção do veículo. Um conjunto destas características pode ser observado na diferença entre caminhões e veículos leves. Os caminhões ao utilizarem um sistema de tração diesel de elevada potência, sistemas de freios e suspensão adequados ao transporte de carga tornam-se de quatro a dez vezes mais ruidosos que veículos leve de passeio;
- Ruído devido ao tipo e condições da pavimentação: Basicamente depende da fricção entre o pneu e o pavimento, do tipo e rugosidade do pavimento e das condições de manutenção da pavimentação. Outra característica associada à pavimentação diz respeito ao alinhamento do via, figura 14, pavimentos elevados ou rebaixados projetam menor nível de ruído sobre as construções e residências, entretanto um alinhamento ao mesmo nível das construções projeta diretamente nas fachadas dos prédios e residências o ruído do trafego da via.
- Ruído devido ao comportamento do motorista: depende das atitudes e ações do motorista do veículo que está trafegando. Dirigir com motor em alta rotação, acelerações ou frenagens bruscas, uso da buzina, volume do sistema de som do veículo;
- Ruído devido a operações de construção ou reforma da via de tráfego: a construção e manutenção de estradas exige uma considerável quantidade de máquinas e equipamentos que produzem elevados níveis de ruído, além de causar diminuição na velocidade do fluxo de veículos.

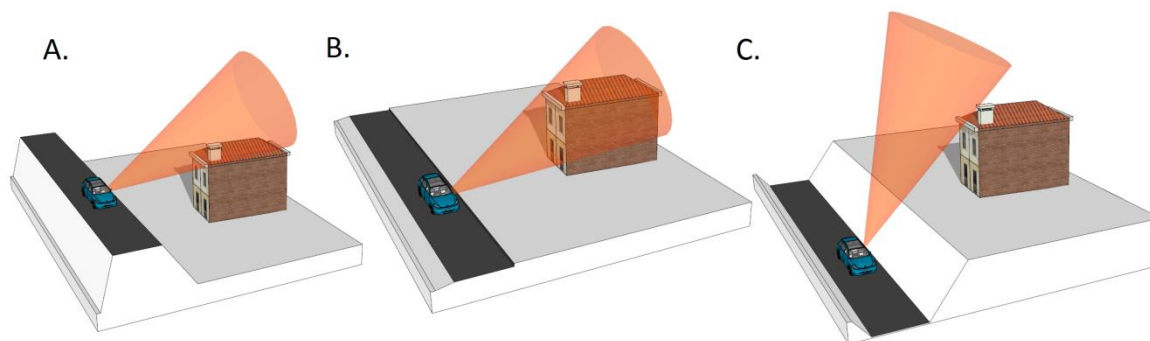


FIGURA 14 - POSIÇÕES DA VIA EM RELAÇÃO ÀS CONSTRUÇÕES.
A) A VIA EM PISO ELEVADO PROJETA O RUÍDO ACIMA DAS CONSTRUÇÕES.
B) A VIA NO MESMO NÍVEL DAS CONSTRUÇÕES PROJETA O RUÍDO DIRETAMENTE SOBRE AS CONSTRUÇÕES.
C) A VIA REBAIXADA EM RELAÇÃO ÀS CONSTRUÇÕES PROJETA O RUÍDO ACIMAS DAS CONSTRUÇÕES.

Fonte: o Autor (2013)

Um elemento comum a estes fatores é o fluxo de veículos através da via, caracterizado pela quantidade de veículos e a pela velocidade média dos veículos. Maiores fluxos de veículos significam necessariamente maiores ruídos emitidos.

Para uma maior quantidade de veículos temos um aumento de 3 dB no ruído emitido cada vez que dobra a quantidade de veículos trafegando pela via,.

Quanto à velocidade, da mesma forma um aumento na velocidade média do tráfego aumenta de maneira global o ruído de tráfego, pois aumenta o ruído do motor, ruído do sistema de exaustão, ruído devido a interação pneu-pavimentação, ruídos de acelerações e desacelerações e possíveis ruídos de freadas. Portanto com a redução da velocidade do trânsito é possível a redução do ruído emitido. Com uma redução de 50% na velocidade média dos veículos é possível uma redução em 6dB sobre nível geral de ruído emitido (ANNECKE; ZIMMERMAN, 2008; HOBAN; TSUNOKAWA, 1997; DFT, 1996; ELLEBJERG, 2007).

Entretanto um dos maiores determinantes no incômodo gerado pelo tráfego de veículos pelas vias públicas é a distância entre o tráfego dos veículos e o receptor. Quanto mais próxima estiver a via de trânsito do receptor, tanto maior será o nível de pressão sonora neste receptor. Como uma via de trânsito tem a característica de uma fonte em linha, a cada vez que dobra a distância entre o receptor e o tráfego de veículos, ocorre uma redução no nível da pressão sonora recebida em 3dB.

3.2 MEDIÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL

A questão central em torno da medição do ruído ambiental é obter valores consistentes para qualificar este ruído bem como estabelecer valores máximos para cada tipo de evento gerador de ruído. Entretanto esta não é uma tarefa simples devido à natureza do ruído gerado por cada diferente evento e o respectivo incômodo causado ou a consequência deste a saúde humana.

Um ruído apresenta características diferentes, não basta considerar apenas o Nível de Pressão Sonora deste ruído, mas é necessário entender como este Nível de Pressão Sonora varia ao longo do tempo. Ruídos com valores elevados de pressão sonora durante um período extremamente curto de tempo, em um comportamento impulsivo, apresenta um efeito diferente de ruídos com menores níveis de pressão sonora, mas que permanecem atuando por um longo período de tempo. De igual modo é necessário observar o conteúdo espectral deste ruído, quais as principais frequências e qual o nível de pressão sonora específico em cada frequência. Por vezes um ruído pode não ter um nível médio de pressão sonora elevado, mas possui certas frequências com valores de pressão sonora mais elevados que geram incômodo ou mesmo maiores danos a saúde (BERGLUND; LINDVALL, 1995).

Apesar de haver uma relação muito complexa entre fatores que caracterizam um ruído e os efeitos sobre as pessoas, na prática as avaliações são conduzidas em poucas medidas, LA_{eq} para ruídos contínuos e LA_{max} para ruídos impulsivos ou de curta duração, e relacionadas com os efeitos sobre as pessoas. Desta forma tem-se uma avaliação de baixo custo e amplamente utilizada pelos pesquisadores, sendo que as especificidades dos efeitos das outras características dos ruídos deverão ser cobertas por outras medidas caso necessário (BERGLUND; LINDVALL, 1995).

Quanto a variação no tempo a medida LA_{eq} que contabiliza a energia média contínua equivalente durante o período observado é extremamente apropriada para associar o incômodo gerado por uma rodovia aos moradores do seu entorno, mas muito ineficaz como medida do incômodo gerado pela passagem de aeronaves sobre determinada região, neste caso será mais indicado trabalhar com o LA_{max} e com o número de eventos ocorridos em um certo período de tempo. Entretanto nem o LA_{eq} e o LA_{max} seriam eficientes para

avaliar ou ruído pulsante em ciclos de poucos segundos. Por exemplo o ruído de uma bomba peristáltica pode ter um LA_{eq} inferior ao ruído de uma avenida ou ainda um LA_{max} inferior ao ruído gerado por uma base aérea e contudo gerar um incômodo muito maior do que ambos (BERGLUND; LINDVALL, 1995; WHO, 1999).

Uma importante consideração a ser feita sobre a medição ao longo de um dia é que uma medição de 62 dBA durante o período da manhã produz um incômodo diferente dos mesmos 62 dBA durante o período da noite. Portanto é necessário introduzir valores de ajuste considerando uma maior sensibilidade ao ruído à noite do que durante o dia e da mesma forma ao calcular um LA_{eq} em um período de 24h. Como exemplo dessa ponderação geralmente se adiciona um ajuste de 10 dBA ao valor medido no período noturno para retratar essa maior sensibilidade noturna (BERGLUND; LINDVALL, 1995).

Quanto ao conteúdo espectral do ruído, a ponderação A é amplamente utilizada para avaliar a reação ao ruído, sendo sempre indicada como caso geral, entretanto a utilização desta curva em ruídos com um conteúdo espectral rico em baixas frequências e de elevada pressão sonora tem se mostrado com baixa eficiência para retratar nível de ruído medido com os incômodos causados (BERGLUND; LINDVALL, 1995; WHO, 1999).

Quando uma avaliação sobre ruído ambiental é conduzida, alguns destes objetivos, conforme o foco do trabalho, deverão ser estabelecidos para atingir uma análise relevante (WHO, 1999):

- Investigar denúncias;
- Avaliar a quantidade de pessoas expostas;
- Conformidade com as normas e legislações vigentes;
- Planejamento do uso do solo;
- Estudos de impacto ambiental;
- Avaliação de medidas corretivas;
- Calibração e validação de simulações;
- Inquéritos de investigações;
- Monitoramento de tendências;

O procedimento de amostragem, o local de medição, a quantidade de medições realizadas, o tipo de medição e a escolha dos equipamentos devem estar de acordo com os objetivos acima traçados.

3.3 AÇÃO DO RUÍDO AMBIENTAL NA SAÚDE

Em termos de saúde o efeito adverso do ruído é definido como uma alteração na morfologia e na fisiologia de um organismo que resulta na diminuição da sua capacidade funcional, na deterioração da sua capacidade de compensação quando houver um esforço adicional, ou no aumento da susceptibilidade aos efeitos nocivos de outras influências ambientais. Esta definição inclui a redução temporária ou em longo prazo do funcionamento físico, psicológico ou social dos seres humanos ou dos seus sistemas de órgãos (GOINES; HAGLER, 2007; RYLANDER, 1978; AHRLIN; ÖHRSTRÖM, 1978);

Os problemas de saúde associados ao ruído ambiental podem ser considerados como os problemas ou efeitos citados a seguir:

3.3.1 Deficiência Auditiva Induzida por Ruído

A perda auditiva induzida por ruído pode ser definida como uma perda da capacidade da percepção sonora, caracterizada pelo aumento no limiar de audição em determinadas frequências. É avaliado clinicamente por meio de um exame de audiometria. É uma perda irreversível e atinge de igual modo tanto os homens quanto as mulheres. A extensão deste dano está relacionada com a duração e com a intensidade da exposição. A perda auditiva induzida pelo ruído é acompanhado por outros problemas auditivos, como o Recrutamento Objetivo de Metz (percepção anormal da intensidade sonora), Paracusia (audição distorcida e ruídos inexistentes) e um zumbido constante nos ouvidos. O zumbido pode ter um efeito temporário ou pode assumir um caráter mais permanente, especialmente após uma exposição prolongada ao ruído (BELTRAMI, 1997; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1978; WHO, 2011; GOELZER *et al*, 2001; BERGLUND; LINDVALL, 1995; WHO, 1999; GOINES; HAGLER, 2007).

Há um consenso geral de que a exposição a níveis de pressão sonora inferior a 70 dB(A) não causa danos à audição, assim como uma exposição a um ruído ambiental superior a 80dB(A) produz o mesmo dano que uma exposição ao ruído ocupacional no ambiente de trabalho. Apesar desta consideração a exposição ao ruído ocupacional é bem regulamentada e controlada em todo o mundo, já a exposição ao ruído ambiental não possui o mesmo cuidado, especialmente em atividades de lazer e entretenimento as quais facilmente extrapolam os 80 dB(A) (KRICHGIN, 1978; WHO, 2011; GOINES; HAGLER, 2007).

3.3.2 Interferência com a comunicação e a fala

O ruído ambiental também age deteriorando a qualidade da comunicação, onde existe uma interferência a capacidade de ouvir e compreender a fala normal de uma pessoa. Isto pode resultar num certo número de deficiências pessoais, desvantagens, e alterações de comportamento. Problemas de concentração, fadiga, incerteza, falta de autoconfiança, irritação, mal-entendidos, a diminuição da capacidade de trabalho, problemas nas relações interpessoais, e uma série de reações de estresse foram identificados (GOELZER *et al*, 2001; BERGLUND; LINDVALL, 1995; WHO, 1999; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1978; WHO, 2011; GOINES; HAGLER, 2007)

3.3.3 Efeitos sobre sono

A perturbação do sono é considerada como uma importante ação do ruído ambiental. Todas as funções do cérebro e do organismo em geral são influenciadas durante o sono, sendo que o sono ininterrupto com qualidade é conhecido por ser um pré-requisito para o bom funcionamento fisiológico e mental das pessoas saudáveis. Os distúrbios causados pelo ruído no sono podem ser divididos em efeitos primários e secundários. Os efeitos de distúrbios primários do sono são: dificuldade em adormecer, despertar frequentemente durante o sono, insônia, acordar muito cedo, alterações dos estágios do sono e redução do sono REM, sono profundo. Os efeitos de distúrbios secundários do sono são os efeitos encontrados enquanto a pessoa está acordada, no dia após

a exposição ao ruído noturno. Estes efeitos incluem a redução da qualidade percebida do sono, o aumento da fadiga, as alterações de humor, do estado de depressão e do bem-estar e a diminuição do desempenho nas atividades diárias (KRICHGIN, 1978; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1981; GOINES; HAGLER, 2007; WHO, 1999; POPESCU; MOHOLEA, 2010; LIU *et al*, 2013).

Durante o sono o ruído causa alterações no funcionamento do organismo: aumento da pressão arterial, aumento da frequência cardíaca, aumento da amplitude da pulsação, vasoconstrição, alterações na respiração, arritmias cardíacas e aumento da movimentação do corpo. Para cada um destes problemas o limiar e as relações de resposta são diferentes, podendo certos níveis de ruído afetar simultaneamente diversas funções do organismo. (GOELZER *et al*, 2001; U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1981; WHO, 1999; GOINES; HAGLER, 2007; LIU *et al*, 2013; AHRLIN; ÖHRSTRÖM, 1978).

3.3.4 Efeitos fisiológicos e cardiovasculares

Dentro dos estudos epidemiológicos e laboratoriais o ruído é considerado como um estressor ambiental, causando efeitos temporários e permanentes sobre a fisiologia humana. Uma exposição temporária ao ruído ativa os sistemas autonômicos e hormonais que ocasionam um aumento na pressão arterial, na frequência cardíaca e na vasoconstrição durante o período de exposição. Uma exposição prolongada ao ruído torna os indivíduos suscetíveis à hipertensão e a doença isquêmica do coração. Se a exposição ao ruído for temporária, os sistemas fisiológicos voltam ao normal tão logo cesse o ruído. Se a exposição é de intensidade e imprevisibilidade suficiente, efeitos cardiovasculares e hormonais podem aparecer, causando um aumento da frequência cardíaca e da resistência periférica; alterações na pressão arterial, na viscosidade do sangue e de lipídios no sangue; mudanças em eletrólitos, especialmente cálcio e magnésio e aumento dos níveis de adrenalina, noradrenalina e cortisol. Estes efeitos são de interesse por causa da doença da artéria coronária relacionada com o ruído. Existe um crescente corpo de evidência que sugere que o ruído pode ser um fator de risco para doença cardiovascular. Apesar de estudos

conduzidos sobre os efeitos da exposição de longo prazo ao ruído ambiental na hipertensão e na doença isquêmica do coração encontrar uma fraca relação, este problema torna-se de grande importância dada à gravidade destas doenças, a quantidade expressiva de pessoas da população expostas ao ruído ambiental e o custo do tratamento destas doenças. Ou seja, um pequeno aumento no risco desta doença para a população pode significar em um substancial aumento de casos existentes (KRICHGIN, 1978; RYLANDER, 1978; AHRLIN; ÖHRSTRÖM, 1978; BOTTELDOOREN *et al*, 2011; LEKAVICIUTE; JERAM, 2013; GOINES; HAGLER, 2007; LIU *et al*, 2013).

3.3.5 Efeitos sobre a Saúde Mental

A saúde mental é definida como a ausência de distúrbios psiquiátricos identificáveis de acordo com as normas atuais. O ruído ambiental não é acreditado para ser uma causa da doença mental, mas presume-se que o ruído ambiental possa acelerar ou intensificar o desenvolvimento de transtornos mentais latentes no indivíduo. Os efeitos adversos do ruído ambiental na saúde mental incluem uma lista de queixas que vão de uma simples dor de cabeça ou alterações no humor até instabilidade e estresse emocional, náuseas, ansiedade, impotência sexual, aumento dos conflitos sociais, bem como neurose, histeria, e psicose. Estudos populacionais têm sugerido associações entre a exposição ao ruído e os indicadores de saúde mental, tais como classificação de bem-estar, os perfis de sintomas, uso de drogas psicoativas e pílulas para dormir e as taxas de internação em hospitais psiquiátricos. Pode haver grandes diferenças na capacidade das várias populações em lidar com a poluição sonora, particularmente no caso de grupos vulneráveis, tais como crianças, idosos e pessoas com doenças pré-existentes, especialmente a depressão (KRICHGIN, 1978; GOINES; HAGLER, 2007; POPESCU; MOHOLEA, 2010; ALIMOHAMMADI *et al*, 2013).

3.3.6 Efeitos sobre o desempenho

Os efeitos adversos do ruído ambiental sobre o desempenho de tarefas cognitivas já estão bem estabelecidos. Os estudos de campo mostraram que o

ruído produz deterioração da capacidade de executar uma tarefa e aumenta o número de erros no trabalho. Os efeitos cognitivos tais como a leitura com atenção, capacidade de raciocinar, resolução de problemas e uso da memória são fortemente afetados pelo ruído. Situações de déficits de memória foram identificadas em condições experimentais de exposição a ruído em diversos indivíduos. Crianças nas áreas mais ruidosas foram encontradas com um aumento da excitação simpática, indicado pelo aumento dos níveis de hormônios do estresse e elevação da pressão arterial em condições de repouso. Considerando-se que quanto maior o tempo de exposição maior são os danos, as escolas e creches devem ser localizadas em áreas relativamente livre de ruído (U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 1981; GOINES; HAGLER, 2007; POPESCU; MOHOLEA, 2010; ALIMOHAMMADI *et al*, 2013).

3.3.7 Efeitos sobre o comportamento social e aborrecimento

Aborrecimento pode ser definido como um sentimento de descontentamento associado a um agente ou a uma condição específica afetando negativamente um indivíduo ou um grupo de pessoas. Além de uma sensação de incômodo, as pessoas podem sentir uma variedade de emoções negativas quando expostos ao ruído ambiental, tais como raiva, decepção, insatisfação, sentimento de impotência, depressão, ansiedade, distração, agitação, ou exaustão. Assim, os termos “aborrecimento” e “incômodo”, embora amplamente utilizados, não são suficiente para cobrir toda a gama de reações negativas associadas com a poluição ambiental (GOINES; HAGLER, 2007; POPESCU; MOHOLEA, 2010).

O ruído pode produzir uma série de efeitos sociais e comportamentais que vão além da irritação. Os efeitos sociais e comportamentais são muitas vezes complexos, possuindo uma ação sutil e indireta. Os efeitos sociais e comportamentais incluem (GOINES; HAGLER, 2007; POPESCU; MOHOLEA, 2010):

- Mudanças no comportamento cotidiano, como por exemplo, o ato de fechar as janelas ou de aumentar o volume da televisão ou do aparelho de som;

- Mudanças no comportamento social tais como agressividade, hostilidade, desengajamento, alienação;
- Mudanças nos indicadores sociais: taxa de mobilidade residencial, quantidade de internações hospitalares, crescimento do consumo de drogas ou as taxas de acidentes de trânsito;
- Alterações no humor: por exemplo, alguém relatar estar mais deprimido ou menos felizes do que em algum outro período ou situação;

A exposição ao ruído, por si só, não é responsável em produzir um comportamento agressivo, mas, no entanto, a combinação de um ambiente ruidoso com a provocação, hostilidade, raiva pré-existente, pode desencadear uma situação de agressão. Suspeita-se também que as pessoas estão menos dispostas a ajudar os outros, durante e depois de um breve período de exposição ao ruído. Existe também uma preocupação de que uma exposição contínua a altos níveis de ruído ambiental pode contribuir para a ação de sentimentos de desamparo em crianças na idade escolar (GOINES; HAGLER, 2007).

Estudos têm demonstrado que níveis iguais de ruído podem causar diferentes resultados e diferentes magnitudes de aborrecimento. Algumas destas diferenças podem estar relacionadas com a hora do dia em que ocorre o ruído, a duração e intensidade do ruído ou e a natureza da atividade que é afetada ou interrompida.

Um maior incômodo foi observado quando o ruído é acompanhado por vibrações que contêm componentes de baixa frequência ou quando o ruído contém impulsos, como o barulho de tiros. O aborrecimento também é maior quando o ruído aumenta progressivamente ao longo do tempo ao invés de permanecer constante (GOINES; HAGLER, 2007).

3.3.8 Efeitos de fontes de ruído combinadas

A maioria dos ambientes é constituída por uma mistura de sons e ruídos provenientes de diversas fontes, desta forma os efeitos na saúde devido a exposição ao ruído não podem ser associados com barulho de uma fonte específica. Nos casos em que uma fonte de ruído domina claramente o

ambiente, a magnitude do efeito pode ser avaliada como se houvesse apenas esta fonte. Não há um consenso sobre um modelo para medir a irritação total devido à combinação de fontes de ruído ambiental, pois não se conhece o suficiente para avaliar qual o potencial aditivo de um ruído ou quais os efeitos sinérgicos de ruídos combinados com outros agentes ambientais, tais como vibrações ou agentes ototóxicos (GOINES; HAGLER, 2007).

Uma evidência qualquer relacionando um ruído de baixa frequência a problemas de saúde já é suficientemente forte para justificar uma preocupação imediata. Várias fontes industriais emitem ruídos de baixa frequência seja de uma maneira contínua, tais como motores a diesel, ou de uma maneira intermitente, como o tráfego ferroviário. Efeitos adversos à saúde devido ao ruído de baixa frequência são considerados mais graves do que os demais ruídos da comunidade em geral, pois estes ruídos são geralmente ignorados com os tipos usuais de medição do som não fazendo parte da formulação do problema e conseqüentemente não sendo resolvidos ou tratados por uma solução (GOINES; HAGLER, 2007).

3.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO

Nos últimos anos o mapeamento acústico sonoro tem sido cada vez mais empregado como ferramenta de avaliação e análise de ruído ambiental. O mapeamento acústico é realizado através de Mapas do Ruído que são produzidos com o auxílio de programas de computador e possibilitam não apenas a leitura de um panorama existente, mas principalmente a geração de alternativas baseadas em cenário e em investigações futuras, servindo de base na realização de políticas públicas, firmando-se cada vez mais como uma ferramenta a serviço do desenvolvimento sustentável e da qualidade de vida.

A importância dos Mapas de Ruído pode ser evidenciada pela tendência dos grandes centros urbanos adotarem esta nova ferramenta na realização do seu planejamento a médio e a longo prazo. Como exemplo dessa tendência a União Europeia, por meio da Diretiva EU END 2002/49/EC, passou a indicar aos países membros apresentarem, até 30/06/2007, mapas estratégicos de ruído para centros urbanos com população superior a 250.000 habitantes e, até 30/06/2012, para centros urbanos acima de 100.000 habitantes.

Os Mapas de Ruído são utilizados para identificação das principais fontes sonoras e sua influência no seu entorno gerando uma distribuição bidimensional e até tridimensional dos níveis de ruído gerados por estas fontes.

As principais vantagens da utilização dos mapas de acústicos na avaliação do ruído ambiental são:

- Uma ampla visão do problema de poluição sonora;
- Uma completa leitura das condições atuais do ruído urbano;
- Uma ferramenta poderosa para geração de cenários futuros considerando o crescimento da cidade, do fluxo de veículos, abertura de novas vias e o impacto que vai ser gerado em cada caso, possibilitando as melhores escolhas;
- Por meio da visão detalhada dos mapas de ruído é possível avaliar a real influencia de cada uma das fontes de ruído urbano quantificando sua atuação e projetando formas de mitigar sua ação;

Através destas análises pode-se então construir uma base de dados que serão de grande valia para:

- Elaboração de políticas públicas,
- Elaboração e mudança do Zoneamento Urbano,
- Planejamento de Uso do Solo,
- Discussão de legislação ambiental de ruído e sua real eficácia no controle de ruído nos centros urbanos;

3.5 TRABALHOS SOBRE MAPEAMENTO ACÚSTICOS REALIZADOS NO BRASIL E NA CIDADE DE CURITIBA-PR

Diversos trabalhos de mapeamento acústico foram realizados no Brasil, nas cidades de Belo Horizonte (FAPEMIG, 2000), Curitiba (CALIXTO, 2002; PAZ, 2004; ENGEL, 2012; ZANNIN *et al*, 2013; FIEDLER, 2013; BUNN, 2013), Belém do Pará (MORAES *et al*, 2003), Aracaju (GUEDES, 2005; GUEDES *et al*, 2011), Florianópolis (NARDI, 2008), Rio de Janeiro (PINTO *et al*, 2008;

MARDONES, 2009; PINTO, 2010), Campo Grande (FILHO, 2012), Recife (SOUZA, 2010).

Os trabalhos realizados na cidade de Curitiba foram produzidos no Laboratório de Acústica Ambiental Industrial e Conforto Acústico, sob orientação e coordenação do Prof. Dr. Ing. Paulo Zannin.

Nestes trabalhos Calixto, (2002) estudou o impacto de uma rodovia na população que vive e trabalha no seu entorno, expondo as condições insalubres desta população. Paz, (2004) realizou um estudo semelhante em outra rodovia que estava passando por um processo de readequação dentro do perímetro urbano o ambiente acústico gerado por um trecho urbano de uma rodovia (BR-476), situado em Curitiba-PR, que sofreu um processo construtivo de readequação, chegando a resultados semelhantes.

Engel, (2012) realizou um estudo da transformação de uma rodovia em avenida e da reurbanização que acompanhou esta modificação analisando o impacto que gerou na população no seu entorno, associando os níveis de pressão sonora com uma análise subjetiva, por meio de entrevistas, dos efeitos da poluição sonora nesta população.

Zannin *et al*, (2013) estudou a distribuição do ruído de tráfego dentro do campus do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná associando os níveis de ruído encontrados com os efeitos na população acadêmica, por meio de uma análise subjetiva de entrevistas realizadas.

Fiedler, (2013) estudou da distribuição do ruído nos principais eixos de transporte urbano da cidade identificando o efeito da poluição ambiental nas áreas sensíveis ao ruído destas regiões, tais como hospitais e escolas.

Bunn, (2013) estudou a distribuição do ruído ferroviário em uma região da cidade pela análise de dois pontos distintos onde se encontram hospitais e escolas.

3.6 TRABALHOS SOBRE RUÍDO AMBIENTAL EM CAMPUS UNIVERSITÁRIOS

A preocupação com a qualidade acústica no ambiente acadêmico tem sido debatida há muito tempo, diversos trabalhos já foram produzidos estudando a qualidade acústica dentro das salas de aula (SHIELD; DOCKRELL, 2004; GAËL, 2004; BEDOYA, 2007; XIE *et al*, 2011) e os problemas gerados pelo ruído tanto no aprendizado do aluno (SHIELD; DOCKRELL, 2008; BEDOYA, 2007; ZANNIN; FERREIRA, 2009; SALA; VILIJANEN, 1995; XIE *et al*, 2011) quanto no trabalho do professor (BEDOYA, 2007; Alves, 2009; HADDZINIKOLOVA *et al*, 2013; AUGUSTYNSKA *et al*, 2010; MONDAL, 2013). Mais recentemente as atenções tem se voltado para o ruído presente dentro do campus universitário, tanto dentro dos ambientes quanto nas áreas externas, gerado pelo tráfego de veículos nas vias que circundam o campus, o chamado ruído de tráfego.

Os limites dos níveis de ruído ambiental nas instituições de ensino e escolas são regulados por normas e legislações nacionais seguindo as recomendações de instituições internacionais, produzindo desta forma um tratamento global ao problema do ruído ambiental. A Organização Mundial da Saúde (WHO 1980; WHO 1999) indica para a atividade de ensino um LAeq ideal de 35 dB(A) e máximo de 45 dB(A) para dentro do ambiente de aprendizagem e um LAeq de 55 dB(a) para ambientes externos. Valores para o LAeq acima de 50 dB(A) dentro dos ambientes de aprendizagem além de dificultar o processo aprendizagem gera desconforto e irritação nos alunos. Para o professor valores de ruído de fundo acima de 65 dB(A) geram um grande esforço e fadiga vocal. Zannin e Ferreira (2009) referenciam valores de Nível de ruído dentro de salas de aula praticado em diversos países, tabela 4, No Brasil a Norma NBR-10.151 especifica um nível de ruído máximo de 50 dB(A) para escolas e o CONAMA fixa este valor por lei por meio da Resolução N° 001 de 08/03/1990. Na cidade de Curitiba a Lei Municipal N° 10.625 especifica um valor máximo de 55 dB(A) em um raio de 200m da escola, independente de onde a escola esteja situada.

TABELA 4- LIMITES PARA O NÍVEL DE RUÍDO EQUIVALENTE L_{Aeq} PARA DENTRO DAS SALAS DE AULA RECOMENDADO EM DIVERSOS PAÍSES

País	Limite para o nível de ruído L_{Aeq}
Austrália	30- 35
Brasil	40 – 50
França	38
Japão	40 – 45
Alemanha	30 – 40
EUA	35 - 40

Fonte (ZANNIN; FERREIRA, 2009)

Para uma melhor compreensão da questão do ruído ambiental dentro do contexto universitário uma pesquisa foi realizada em artigos de revistas científicas, teses e dissertações sob os temas: Ruído em Campus Universitário e Mapeamento Acústico em Campus Universitário. Foram encontrados nove trabalhos que serão analisados a seguir.

Sob o ponto de vista das medições de ruído realizadas, dos nove trabalhos um foi realizado apenas com medições internas de ruído, seis trabalhos apenas com medições externas de ruído e dois trabalhos com ambas as medições de ruído, internas e externas. Sob o ponto de vista do mapeamento acústico cinco trabalhos foram desenvolvidos com mapas de ruído sendo que dois com programas específicos de acústica ambiental e três dividindo o campus em uma malha e medindo o nível de ruído em todos os nós. Dois trabalhos trouxeram uma análise objetiva, por meio de medição dos níveis de ruído, e uma análise subjetiva, por meio de aplicação de questionários. Estes trabalhos estão apresentados sucintamente nos próximos parágrafos.

Otutu (2011) investigou o ruído ambiental no Campus 2 da Delta State University na cidade de Abraka na Nigéria. O trabalho consistiu na investigação do ruído ambiental no interior dos edifícios nas áreas comuns e corredores. Foram avaliados 22 pontos em diferentes andares de 5 edifícios. Foram obtidos os valores máximos de 86,4 dB(A) e mínimo de 48,4 dB(A). O valor médio calculado para o campus foi de L_{Aeq} de 74,2 dB(A). As medições foram

realizadas com um tempo de medição de 10 minutos todas no período diurno, das 8:00h as 16:30h, durante 20 dias.

Phukan e Kalita, (2013) investigaram o ruído de tráfego no campus da Gauhati University, na cidade de Guwahati, Assam, na Índia. Foram medidos os níveis de ruído a 3m das fachadas dos edifícios em oito diferentes localidades ao longo de uma rodovia que cruza o campus, figura 15. As medições tiveram uma duração de 10 minutos a 1,5m do chão, e foram realizadas no período diurno em três diferente horários, das 9:00h as 11:00h, das 12:00h as 14:00h e das 18:00h as 20:00h. O nível máximo obtido foi de 64,3 dB(A) no período das 18:00 as 20:00h e o nível mínimo obtido foi de 57 dB(A) no período 9:00h as 11:00h. Os valores médios calculados foram de 61.2 dB(A) no período das 9:00h as 11:00h, 60,0 dB(A) no período das 12:00h as 14:00h e 60,6 dB(A) no período das 18:00h as 20:00h.

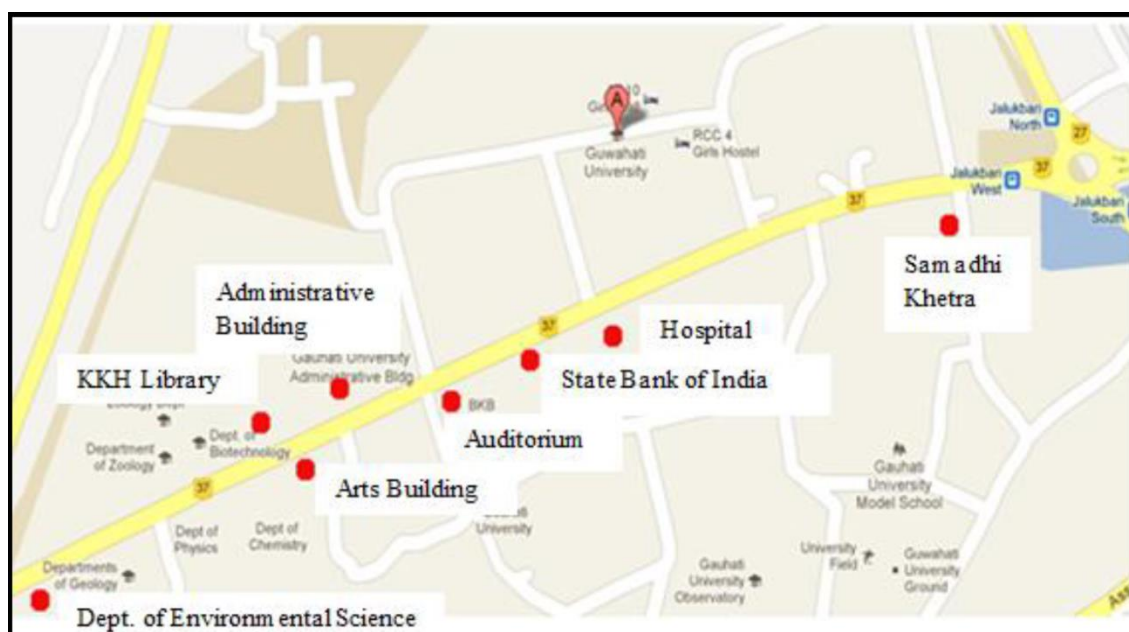


FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DOS 8 PONTOS DE MEDIÇÃO NO CAMPUS DA GAUHATI UNIVERSITY, AO LONGO DA RODOVIA NH-37.

Fonte: (PHUNKAN; KALITA, 2013).

Zhou e Zhang, (2012) produziram em seu trabalho um mapa do ruído ambiental distribuído pelo campus da Hebei University of Engineering na cidade de Handan na província de Hebei, China. Para se obter o mapa do ruído de tráfego o campus foi dividido em quatro regiões e cada região em 10 campos de

1.000 m². Foram considerados 28 pontos, nos campos mais significativos, onde foi medido o nível de pressão sonora com um tempo de medição de 10 min a 1,2 m do chão e distante a 3m de qualquer outra superfície refletora, em uma posição o mais centralizada possível dentro de cada campo, figura 16-(a). As linhas de contorno de ruído do mapa foram geradas com um programa de computador de gráficos de superfície, figura 16-(b). As medições no período diurno, das 6:00h as 22:00h e no período noturno, das 22:00h as 6:00h. Para o período diurno o nível máximo obtido foi de 61,2 dB(A) e o mínimo obtido foi de 43,3 dB(A) e para o período noturno foram respectivamente 66,1 dB(A) e 43,0 dB(A). Os níveis médios calculados para o período diurno e noturno foram respectivamente 54,5 dB(A) e 55,4 dB(A).

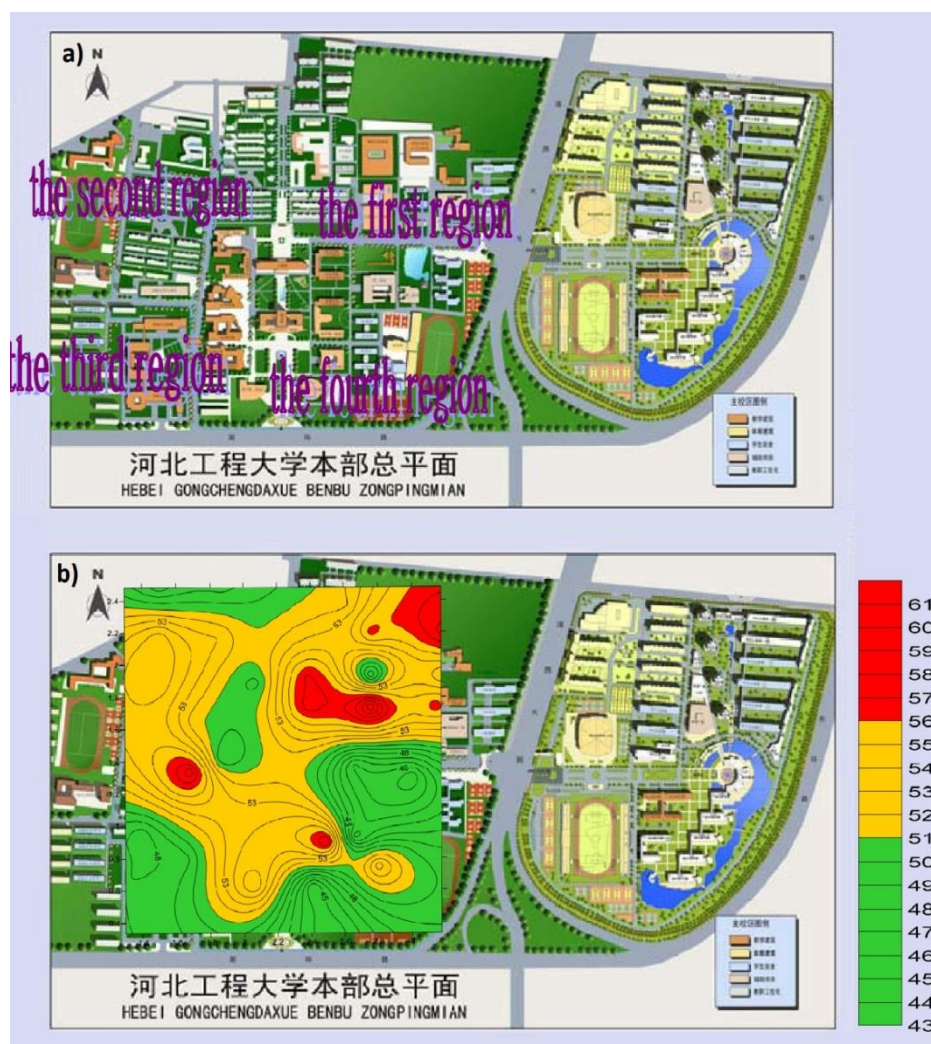


FIGURA 16 – A) MAPA DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO DIVIDIDO EM QUATRO REGIÕES, B) RESULTADO DO MAPA DE RUÍDO RODOVIÁRIO NO CAMPUS DA HEBEI UNIVERSITY OF ENGINEERING.

Fonte: adaptado de (ZHOU; ZHANG, 2012).

Su *et al*, (2013) fizeram um amplo estudo sobre a questão do ruído ambiental em campi universitários. Este estudo foi realizado em dez campi universitários de oito universidades distribuídas em cinco províncias da China. Foi realizada uma análise objetiva por meio da medição do ruído em cinco campi universitários na cidade de Harbin e uma avaliação subjetiva, por meio de questionários aplicados em uma amostra representativa da população universitária chinesa, associando o desempenho acadêmico com o ruído ambiental existente no ambiente universitário. As medições acústicas foram tanto em ambientes externos quanto em ambientes internos. As medições externas foram realizadas em 29 pontos distribuídas pelos campi universitários, com uma duração de 5 minutos a 1,2 metros de chão e a 1m distante das fachadas dos edifícios, estas medições foram realizadas no período diurno, das 7:00h as 9:00 e das 17:00h as 19:00h, e no período noturno, das 21:00h as 23:00h. As medições internas foram realizadas em 14 pontos sendo uma medição contínua, com duração de 90 minutos, em um corredor entre as salas de aula, 9 medições de 5 minutos em diferentes ambientes e uma medição a cada hora, no período das 9:00h as 23:00, em 4 pontos nos dormitórios. Os valores máximos e mínimos encontrados para as medições externas foram respectivamente 87,2 dB(A) e 46,7 dB(A), para o período diurno, e 86,5 dB(A) e 45,5 dB(A), para o período noturno. Para as medições internas os valores máximos e mínimos foram 87,4 dB(A) e 41,2 dB(A). Quanto às avaliações subjetivas, com relação ao ruído ambiental no campus dos entrevistados 28% estão satisfeitos e 31% insatisfeitos, 60 % dos entrevistados acham o ruído ambiental incômodo nas grandes salas e 23% nas salas menores, 31 % dos entrevistados acham que o ruído ambiental atrapalha nos estudos individuais e 28% nas atividades de pesquisa. Em contraste com estas informações cerca de 2/3 dos alunos, 68,1% consideram seu desenvolvimento acadêmico médio ou lento, apesar de mais da metade dos mesmos alunos, 53,9%, estarem satisfeitos com a sua atitude diante dos desafios educacionais da academia.

Um estudo de desenvolvimento de longo prazo da Universidade da Califórnia, campus de Berkeley, o *UC Berkeley, 2020 Long Range Development Plan* (UC BERKELEY, 2005), apresenta um relatório de impacto ambiental do ruído de tráfego com o mapa do campus com 26 pontos avaliados, figura 17 O

relatório indica níveis de ruído entre 64 dB(A) e 71 dB(A) ao longo das principais avenidas no entorno do campus, estes níveis diminuem quando se aproximam do Campus Park, onde encontram-se níveis entre 61 dB(A) a 63 dB(A) causado principalmente pelo movimento de pessoas e ciclistas no parque. As regiões mais afastadas das avenidas possuem níveis de ruído entre 49 dB(A) e 50 dB(A), notadamente nestes locais encontram-se instaladas duas bibliotecas e uma área residencial. No planejamento consta a implementação de uma nova linha de acesso aos veículos pela região residencial com destino ao parque aumentando em 3 dB o nível de ruído nas avenidas desta região. Está previsto um aumento de cerca de 1 dB nas avenidas do campus devido o aumento do fluxo de veículos nos próximos anos. O relatório também prevê o aumento de ruído em áreas que irão passar por construções e reformas com os níveis de ruído atingindo valores entre 85 dB(A) a 90 dB(A). O máximo nível de ruído encontrado foi de 72 dB(A) e o mínimo foi de 48 dB(A). O nível médio calculado foi de 64,3 dB(A).

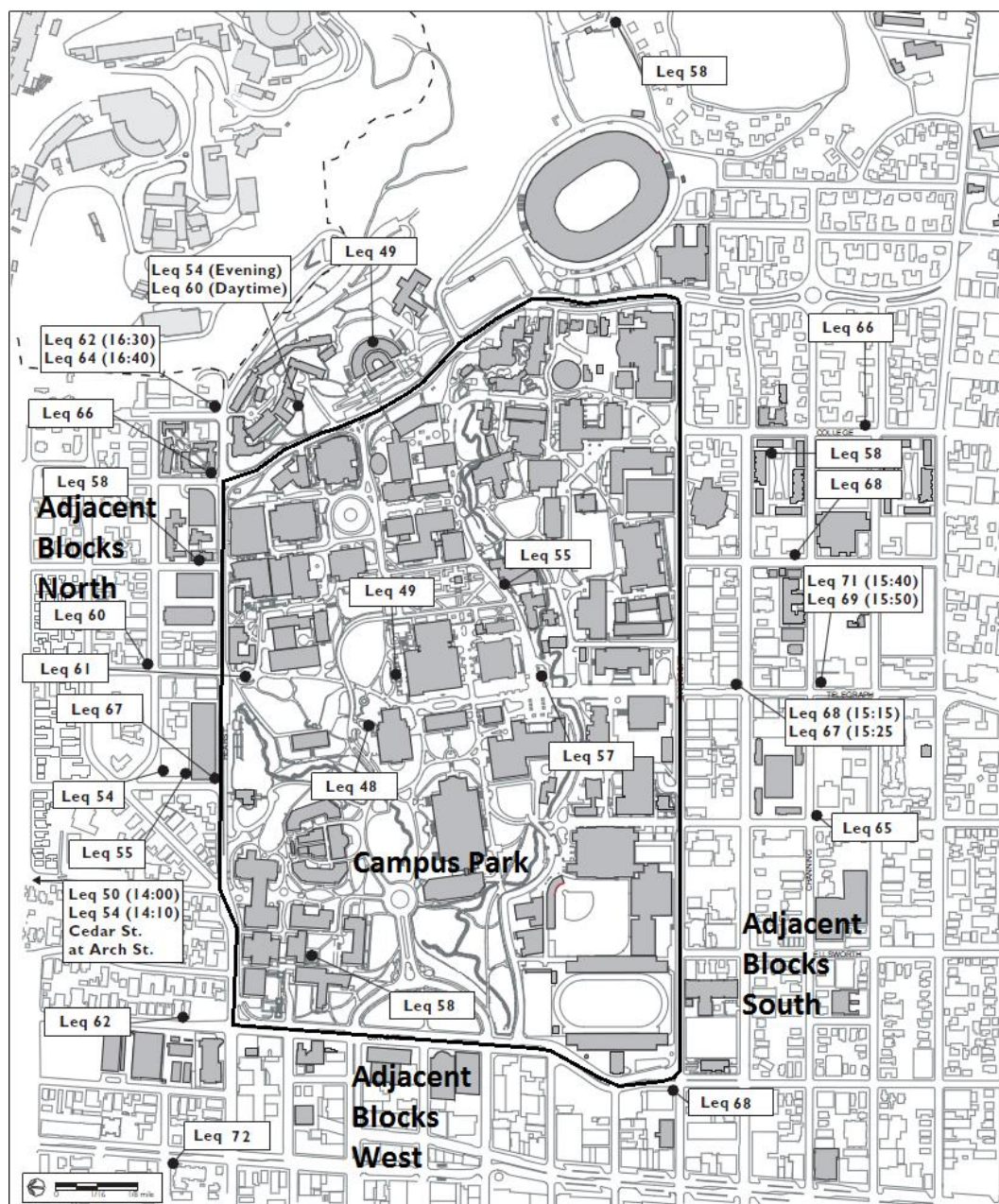


FIGURA 17 - MAPA DO CAMPUS DA UNIVERSIDADE DE BERKELEY PARA O RELATÓRIO DE IMPACTO AMBIENTAL DO PLANO DE DESENVOLVIMENTO DE LONGO PRAZO 2020, COM 26 PONTOS DE MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO DENTRO DO CAMPUS.

Fonte: Adaptado de CU Berkeley, (2005)

Nagem, (2004) em sua dissertação de mestrado apresenta uma metodologia para mapeamento do ruído de tráfego sem a utilização de programas simuladores de ruído. No seu trabalho ela estudou o ruído de tráfego dentro do campus da UNICAMP. A metodologia para obtenção do mapa de ruído consistiu em criar uma malha triangular, com distância de 450m entre os nós, abrangendo todo o campus com medições do nível de ruído no centro de cada área formada, figura 18 (a)-(b). Foram localizados 28 pontos de medições em

cada nó, ou próximo destes na impossibilidade de acesso, sendo realizadas medições com a 1,2 m do chão e a 3,5 m de superfícies refletoras. As medições foram realizadas continuamente em um intervalo de 5 min em um período de 12h, das 7:00h as 19:00h, totalizando 144 medições por ponto. Juntamente com a medição do nível de pressão sonora foi realizada a contagem de veículos, no caso do ponto localizado próximo a uma rua, sendo apenas diferenciado veículo leve, moto e automóvel, de veículo pesado, van, caminhão e ônibus. A relação entre o ruído ambiental e o fluxo de veículos foi realizada por meio de uma abordagem estatística onde se verificou a correlação entre estas variáveis, sendo obtidos altos valores de correlação onde os pontos estavam mais próximos das vias de maior fluxo de veículos e menores onde os pontos estavam mais distantes das vias de tráfego de veículos ou muito próximas a outras fontes de ruído como torre de resfriamento ou via de fluxo de passagem de pedestres. Para os horários de pico da manhã, das 8:00h as 9:00h, e da tarde, das 17:00h as 18:00h, dos 28 pontos avaliados apenas 3,6 % estão abaixo de 55 dB(A), 17,9% estão abaixo dos 60 dB(A) e mais de 36% acima dos 70dB(A). O máximo nível de ruído encontrado em todas as medições em todos os pontos foi de 77,5 dB(A) e o menor nível de ruído foi 49,5 dB(A).

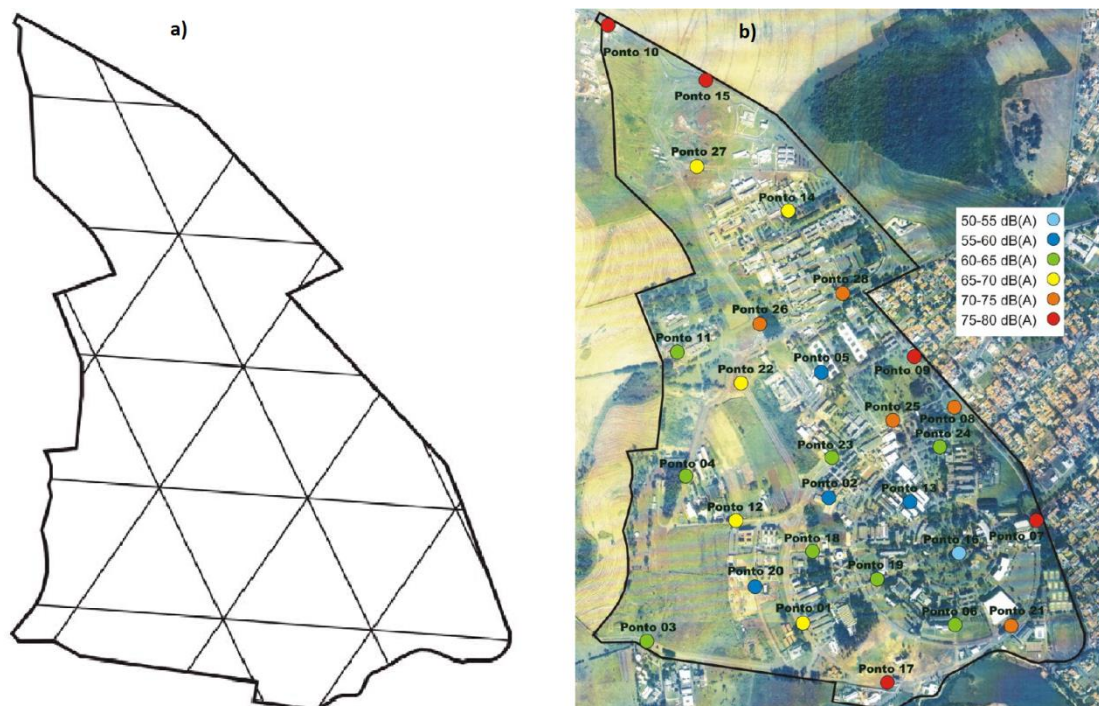


FIGURA 18 - A) DIVISÃO DO CAMPUS DA UNICAMP EM ÁREAS TRIANGULARES COM 450 DE DISTÂNCIA ENTRE OS NÓS. B) MAPA DE RUIDO AMBIENTAL DA UNICAMP COM A LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS E OS VALORES OBTIDOS POR MEIO DE MEDIÇÃO.

Fonte: adaptado de NAGEM, (2004)

Zannin *et al*, (2013) caracterizaram o ruído ambiental presente no Campus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, UFPR. Este estudo foi conduzido tanto com análises objetivas, baseadas em medições do nível de ruído ambiental e em mapeamento do ruído, quanto em análises subjetivas, baseadas em questionários aplicados sobre uma amostra significativa da população. As medições foram realizadas em 58 pontos distribuídos pelo campus com tempo de medição de 3min a 1,2 m do solo e a 2m de superfícies refletoras no período diurno, das 13:30h a 17:30h. O mapeamento foi produzido com o programa de computador *Predictor* 8.1, em uma malha de 5x5 metros a uma altura de 4m do chão, figura 19. Dos pontos medidos, 10,35% estão abaixo dos 55 dB(A), 51,72 estão abaixo dos 60 dB(A) e apenas 3,5% acima dos 70 dB(A). O nível máximo de ruído encontrado dentro do campus foi de 74 dB(A) e o menor nível de ruído encontrado foi 48 dB(A). Quanto à análise subjetiva mais da metade dos entrevistados, 53%, disseram não se sentirem incomodados com o ruído ambiental dentro do campus universitário a ponto de 1/3 do total dos entrevistados consideraram os níveis de ruído ambiental baixo e

apenas 18% consideram estes mesmos níveis como intolerável. Quanto às queixas a respeito da ação do ruído, a maioria delas trata-se de dificuldade de concentração, 43%, e de irritação, 25%.

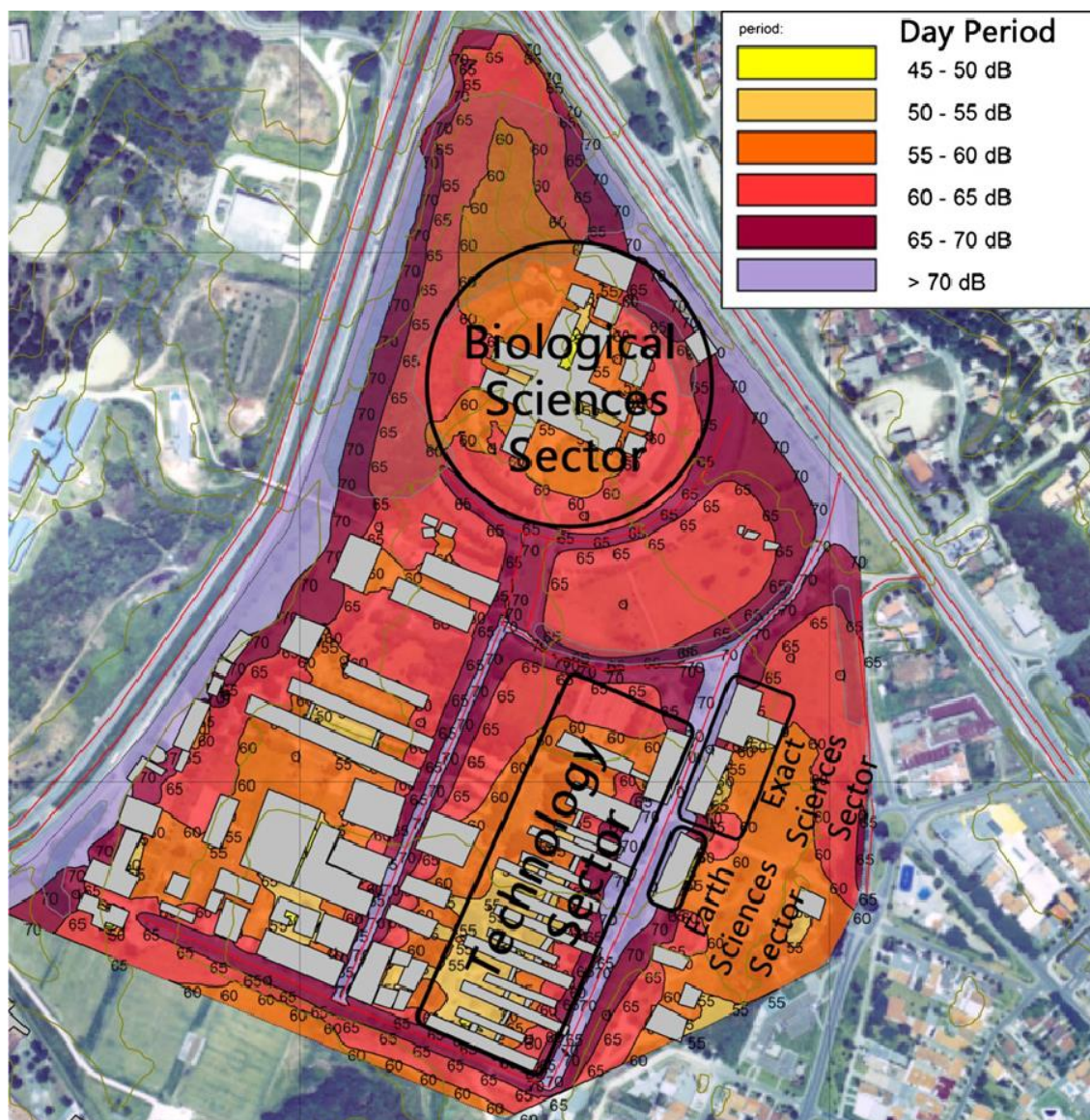


FIGURA 19 - MAPA DE RUÍDO AMBIENTAL DO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO DA UNIVERSIDADE FERERAL DO PARANÁ, UFPR, MALHA DE 5X5M A 4,0 M DE ALTURA DO CHÃO.

Fonte (ZANNIN et al, 2013).

Yoza *et al*, (2007) fizeram uma mapa de ruído ambiental do campus da Universidad Nacional Agraria La Molina na cidade de Lima, no Peru. Este mapa de ruídos foi realizado com a divisão do campus em uma malha quadrada de 200x200m obtendo-se 53 nós onde foram realizadas medições contínuas do nível de ruído para o período diurno, 7:01h as 22:00, e com um tempo de

medição de 5 a 15 min para o período noturno, 22:01 as 07:00 a uma altura de 4 m do nível do solo. O mapa foi gerado com o programa ARC GIS 9 usando uma interpolação de superfície do tipo Kriging, figura 20. O máximo nível de ruído verificado no interior do campus foi de 68,7 dB(A) e o menor nível de ruído encontrado foi de 47,0 dB(A). O valor médio para o campus foi de 59,4 dB(A).

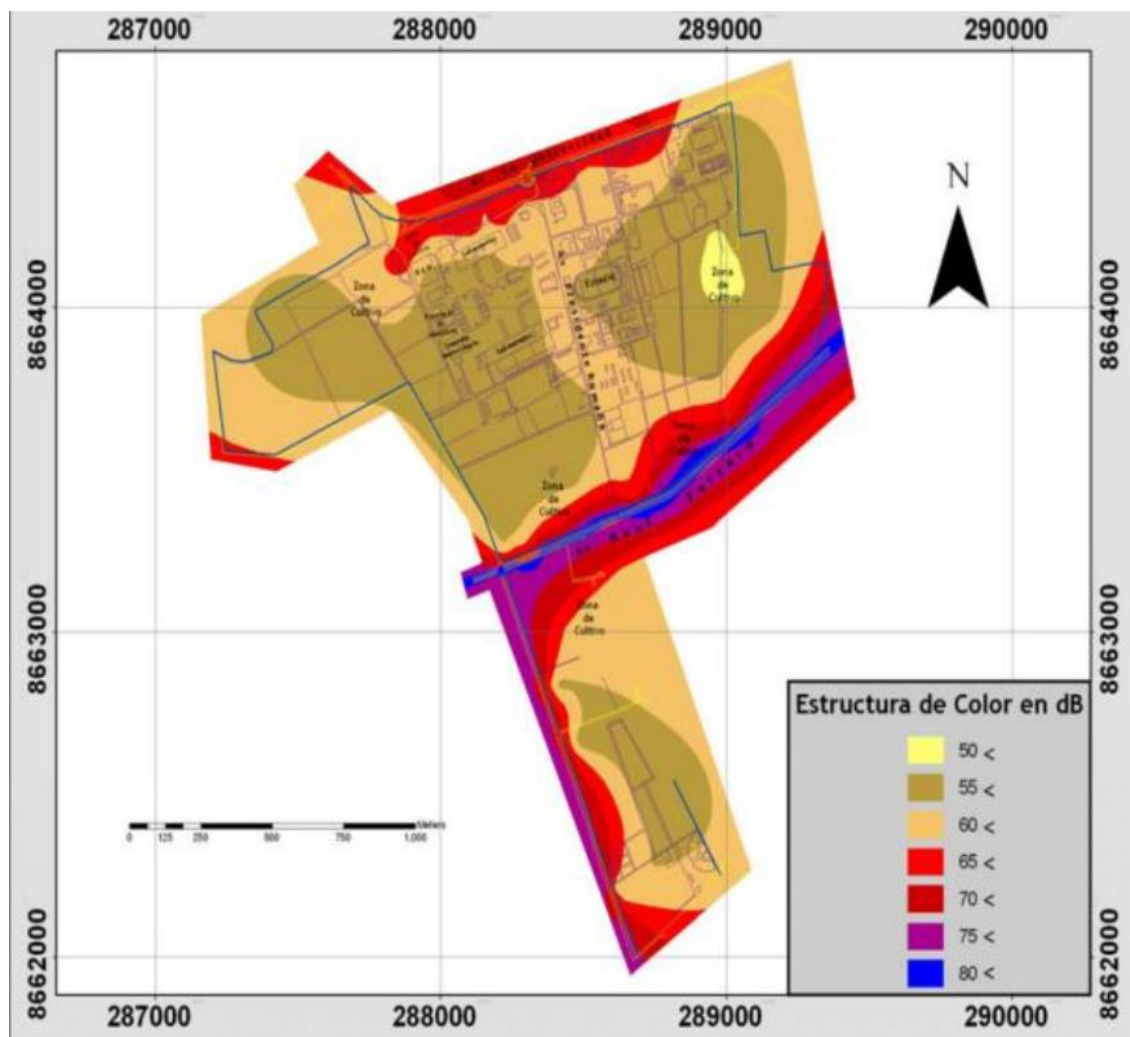


FIGURA 20 – MAPA ACÚSTICO DO CAMPUS DA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA, MALHA 200X200M COM 53 PONTOS DE MEDIÇÃO A 4M DE ALTURA. MAPA OBTIDO POR INTERPOLAÇÃO DE SUPERFÍCIE TIPO KRIGING.

Fonte: (YOZA et al, 2007)

Pérez *et. al.* (2010) elaboraram o Mapa estratégico de ruído do Campus Universitário de Teatinos da Universidade de Málaga na cidade de Málaga, Espanha. O mapa de ruído foi gerado como programa de Computador CadnaA e para a calibração do mapa foi realizada apenas uma medição com um nível de ruído com 5 min de duração a 10m da via de tráfego de veículos sendo o valor

desta medição de 60,5 dB(A). Níveis de ruído acima de 75 dB(A) foram encontrados nas principais vias de tráfego de veículos e no interior do campus os níveis predominantes estavam entre 60 a 65 dB(A) com alguns poucos pontos acima dos 65 dB(A). Nas fachadas dos prédios de frente para a avenida principal foram encontrados níveis de ruído na ordem de 77 dB(A) sendo que a maioria das fachadas dos edifícios se encontram na faixa de 64 dB(A) a 70 dB(A). O estudo aponta para o fato de 89% das fachadas dos edifícios do campus estarem acima do proposto pela Diretiva 2002/49/CE da União Europeia que especifica níveis até no máximo 60 dB(A). Como agravante ainda tem se o fato que 3 % das fachadas dos edifícios estão sujeitas a níveis de ruído acima dos 77 dB(A).

Uma análise comparativa entre estes trabalhos está na tabela 5, onde foram apresentados apenas os dados das medições externas. O trabalho sobre a Delta State University da Nigéria não foi listado nesta tabela comparativa, pois conta apenas com medições internas. O trabalho sobre os campi universitários da China foi mostrado com uma linha para cada Campus Universitário onde foram realizadas as medições externas. Nesta tabela estão listados os campi como Campus 1 a Campus 12 de acordo com a seguinte sequência:

- Campus 1: Gauhati University – Índia;
- Campus 2: Hebei University of Engineering – China;
- Campus 3: Campus A do Harbin Institute of Technology – China;
- Campus 4: Campus B do Harbin Institute of Technology – China;
- Campus 5: Campus A do Heilongjiang University – China;
- Campus 6: Campus B do Heilongjiang University – China;
- Campus 7: Northeast Forestry University – China;
- Campus 8: University of California, campus Berkeley – EUA;
- Campus 9: Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP – Brasil;
- Campus 10: Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, UFPR – Brasil;
- Campus 11: Universidad Nacional Agraria La Molina – Peru;
- Campus 12: Campus Universitário de Teatinos da Universidade de Málaga – Espanha;

TABELA 5 - TABELA COMPARATIVA SOBRE OS TRABALHOS DE RUÍDO AMBIENTAL EM CAMPUS UNIVERSITÁRIOS COM MEDIÇÕES EXTERNAS DO NÍVEL MÉDIO EQUIVALENTE DE RUÍDO, LA_{Eq}.

Campus	Locais de medição				Nível de Ruído LA _{Eq}			Mapa de Ruído Malha (m)	
	Nº	H (m)	T (min)	Horário de Medição	Max. dB(A)	Min. dB(A)	Med. dB(A)		
Campus 1	8	1,5	10	9:00h às 11:00h	64,4	57,0	61,2	x	
	8	1,5	10	12:00h às 14:00h	63,4	55,3	60,0		
	8	1,5	10	18:00h às 20:00h	64,3	56,1	60,6		
Campus 2	28	1,2	10	6:00h às 22:00h	61,2	43,3	54,5	10 x	
	28	1,2	10	22:00h às 6:00h	66,1	43,0	55,4	1.000 m ²	
Campus 3	9	1,2	5	Manha 7:00h às 9:00	78,3	52,3	70,2	x	
Campus 4	5	1,2	5		Tarde 17:00h às 19:00h	75,8	62,9		72,3
Campus 5	5	1,2	5	Noite 21:00h às 23:00h		72,2	50,9		69,2
Campus 6	3	1,2	5		7,6	60,3	67,9		
Campus 7	7	1,2	5	76,6	49,7	70,5			
Campus 8	26	ND	ND	ND	72,0	48,0	64,3		x
Campus 9	28	1,2	5	7:00h às 19:00h	77,5	49,5	ND		Triangula r 450 m
Campus 10	58	1,2	3	13:30 às 17:30	74,0	48,0	ND	Predictor 5m x 5m	
Campus 11	53	4,0	Cont.	7:01h as 22:00	x	x	x	Arc Gis 9 Kriging Quadrad a 200m	
			5 - 15	22:01 as 07:00					
Campus 12	1	ND	5	60 db(A)	x	x	x	CadnaA ND	

Fonte: o Autor (2013)

3.7 MODELAGEM DE RUÍDO RODOVIÁRIO

Por detrás dos mapas de ruído existe um complexo cálculo computacional baseado em modelos de predição do ruído urbano ocasionando o surgimento de diversos programas comerciais, como *CADNA*, *ENM*, *IMMI*, *Mitra*, *Predictor-Lima*, *Noisemap*, e *SoundPLAN*, que que levam em conta as seguintes características:

- O fluxo de veículos através das vias publicas
 - Tipo de veículo;
 - Velocidade média de cada tipo de veículo;
 - Quantidade de cada tipo de veículo;
- Interação pneu--pavimentação da via;
- Geometria e traçado da via pública;
- Aclive e declives das vias públicas;
- Curva topográfica do terreno da região analisada;
- Construções e prédios existentes na região:
 - Tipo de superfície de revestimento;
 - Tipo de construção;
 - Altura da construção;
 - Localização da construção em relação aos pontos geradores de ruído

Os modelos empregados nestes programas de computador são basicamente os mesmos, a maior diferença está na implementação dos modelos no ambiente computacional. Quando da realização de uma simulação é necessário escolher qual modelo vai ser trabalhado:

- ISO 9613 -1/2 Road, (Acoustics- Attenuation of sound during propagation outdoors- Part 2)
- Richtlinien für den Lärmchutz an Straßen -RLS-90 (Alemanha);
- NMPB-2008 (frança);
- Calculation of Road Traffic Noise CRTN (Reino Unido);
- Federal Highway Administration FHWA (Estados Unidos);

4 NORMAS E LEGISLAÇÕES PARA O RUÍDO AMBIENTAL

4.1 NORMAS PARA O RUÍDO AMBIENTAL

O ruído ambiental tem a sua definição, caracterização, avaliação e valores limites estabelecidos por normas e leis locais e regionais. As normas estabelecem valores máximos ou admissíveis de nível de ruído para cada região ou localidade em função da finalidade ou zoneamento desta região, locais residenciais possuem limites mais baixos que localidades industriais ou comerciais. Da mesma forma as normas estabelecem limites diferenciados em função do horário do dia ou da noite, horários noturnos possuem valores limite inferiores aos do diurno. A normatização internacional fornece uma base para as normatizações nacionais, e na falta desta ela deve ser considerada. As normas nacionais muitas vezes assumem limites inferiores e critérios mais rígidos que a norma internacional em função da diferente resposta da população local a questão do ruído e também em função da evolução dos valores históricos já estabelecidos nestas localidades.

A ISO, *International Organization for Standardization*, é o organismos internacional, baseado em Genebra na Suíça, que estabelece padrões internacionais para o Ruído Ambiental por meio da norma ISO 1996, *Acoustics-Description, measurement and assessment of environmental noise*. Esta norma é dividida em duas partes, sendo a primeira parte a norma ISO 1996-1, *Basic quantities and assessment procedure*, e a segunda parte a norma ISO 1996-2, *Acquisition of data pertinent to land use* (ISO, 2003; ISO, 1998).

A norma ISO 1996-1 estabelece os itens básicos a serem utilizados para descrever o ruído em ambientes comunitários e descreve procedimentos básicos para a sua avaliação. Esta norma também caracteriza e diferencia os tipos de ruído ambiental e os métodos para avaliar exposição a cada um destes tipos de ruídos. Como cada uma destas fontes de ruído possuem características diferentes a norma estabelece ajustes entre os níveis emitidos por cada tipo fonte, conforme o grau de incômodo gerado, estabelecendo uma comparação entre estes tipos e fornecendo bases para um valor único para o nível de ruído permissível. Estes valores de ajuste também consideram o horário e o dia da semana ou feriado em que a fonte está emitindo ruído. Estes valores de ajuste

são adicionados ou diminuídos dos valores dos níveis de pressão sonora contínua equivalente medidos ou simulados. Esta primeira parte da norma não especifica limites de ruído ambiental (ISO, 2003).

A resposta da comunidade ao ruído pode variar entre diferentes fontes sonoras que possuem o mesmo nível de ruído. Essa parte da norma descreve ajustes para sons que tenham diferentes características. Também indica ajustes para horário noturno, fins de semana e feriados, a fim de proporcionar possibilidade de descanso. Esses ajustes podem ser adicionados às medições ou à predição do nível de exposição ao ruído ou ao nível de pressão sonora contínua equivalente. A tabela 6 apresenta estes valores recomendados.

TABELA 6 - AJUSTE DOS NÍVEIS BASEADO NAS CATEGORIAS DE FONTE SONORA E PERÍODO DO DIA

	ESPECIFICAÇÃO	NÍVEL DE AJUSTE
Fonte Sonora	Ruído rodoviário	0
	Ruído aeronáutico	3 a 6
	Ruído ferroviário	- 3 a - 6
	Ruído industrial	0
Característica da Fonte	Impulsivo Regular	5
	Fortemente Impulsivo	12
	Sons Tonais	3 a 6
Período	Tarde	5
	Noite	10
	Fim de Semana (7:00h às 22:00h)	5

Fonte: (ISO 1996-1, 2003)

A segunda parte da norma tem por finalidade fornecer métodos para a aquisição de dados para descrever o ruído ambiental. Esses dados servirão como base para selecionar o apropriado uso do solo conforme os níveis de ruído existentes em determinada área, ou planejar locais que tenham níveis de ruído apropriados ao uso do solo já existente (ISO, 1998).

A determinação do nível sonoro médio contínuo para um local ou região pode ser feita através de medições, cálculos ou ambos. Para a técnica de

medição a norma especifica a instrumentação necessária, o número de posições do microfone, a duração do tempo de medição considerando o tipo de fonte e de receptor. A norma prevê a confecção de um mapa de ruído podendo este mapa ter áreas com o mesmo nível de ruído ou o contorno da diferença de ruído, ou ainda uma combinação destes dois tipos (ISO, 1998).

A norma nacional brasileira, a NBR 10151 (ABNT, 2000), Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade, tem como base os seguintes objetivos:

- Estabelece as condições para os níveis aceitáveis de ruído em comunidades;
- Estabelece um método para a medição de ruído contínuo equivalente e a aplicação de ajustes aos níveis medidos caso necessário;

A avaliação dos níveis de ruído será realizada com as medições do nível de pressão sonora equivalente LA_{eq} ponderados na curva A com valores em dB(A). Também será considerado ajustes caso haja um caráter impulsivo do ruído ou um ruído com componentes tonais. A norma ainda especifica os equipamentos de medição e de calibração bem como os procedimentos de medição.

Os valores adotados pela norma NBR 10.151 para o nível de critério de avaliação estão representados na tabela 7.

TABELA 7 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO (NCA) PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM DB(A).

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

Fonte: (ABNT, 2000)

4.2 LEGISLAÇÃO PARA O RUÍDO AMBIENTAL

As normas trazem o padrão para a avaliação e os níveis recomendados, mas não tem peso de lei, não podem estabelecer penalidades para o caso do não cumprimento do recomendado, por isso surge à necessidade de uma legislação específica que trate do assunto. Desta forma a legislação age em complemento ao recomendado pela norma tornando esta recomendação como exigível e passível de punição.

No Brasil a legislação ambiental fica a cargo do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA, um órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente, SISNAMA, que faz parte do Ministério do Meio Ambiente. O CONAMA estabelece suas deliberações e valores exigíveis por meio de resoluções. As resoluções do CONAMA que tratam do ruído Ambiental são a Resolução Nº. 001 de 08/03/1990 e a Resolução Nº. 252 de 01/02/1999 do CONAMA.

A Resolução Nº. 001 de 08/03/1990 que dispõe o seguinte:

- I. A emissão de ruídos, em decorrência de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política, obedecerá, no interesse da saúde, do sossego público, aos padrões, critérios e diretrizes estabelecidos nesta resolução.
- II. São prejudiciais à saúde e ao sossego público, para os fins do item anterior, os ruídos com níveis superiores aos considerados aceitáveis pela Norma NBR 10151 Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).
- III. A emissão de ruídos produzidos por veículos automotores e os produzidos no interior dos ambientes de trabalho obedecerão às normas expedidas, respectivamente, pelo Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN e pelo órgão competente do Ministério do Trabalho.
- IV. As entidades e órgãos públicos (federais, estaduais e municipais) competentes, no uso do respectivo poder de polícia, disporão de acordo com o estabelecido nesta resolução, sobre a emissão ou proibição da emissão de ruídos produzidos por qualquer meio ou de

qualquer espécie, considerando sempre os locais, horários e a natureza das atividades emissoras, com vistas a compatibilizar o exercício das atividades com a preservação da saúde e do sossego público.

- V. Para os efeitos desta resolução, as medições deverão ser efetuadas de acordo com a NBR 10151 - Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o conforto da comunidade, da ABNT, todas as normas regulamentadoras da poluição sonora, emitidas a partir da data em que esta resolução foi publicada, deverão apresentar conteúdo compatível com o a presente resolução.

A Resolução Nº. 252 de 01/02/1999 considera que o ruído proveniente do tráfego rodoviário pode causar prejuízo à saúde física e mental, afetando particularmente a audição, sendo necessário reduzir os índices de poluição sonora nos principais centros urbanos do Brasil.

- I. Estabelecer, para os veículos rodoviários automotores, inclusive veículos encarroçados, complementados e modificados, nacionais ou importados, limites máximos de ruído nas proximidades do escapamento, para fins de inspeção obrigatória e fiscalização de veículos em uso.
- II. Para veículos nacionais ou importados, do ciclo Otto, que atendam aos limites máximos de ruído em aceleração estabelecidos nas Resoluções nos 2/93 e 8/93 do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA, o limite máximo de ruído para fins de inspeção obrigatória e fiscalização é o ruído emitido por veículos automotores na condição parado, declarado pelo fabricante ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, conforme art. 20, § 6º da Resolução CONAMA nº 8/93 ou art. 1º, § 6º da Resolução CONAMA nº 2/93, dependendo da categoria de veículo.
- III. Para veículos nacionais ou importados, do ciclo Diesel, são válidas as mesmas exigências estabelecidas no § 1º deste artigo, para os veículos do ciclo Otto, entretanto, sendo somente aplicáveis aos modelos produzidos a partir de 1º de janeiro de 1999.
- IV. Para os modelos de veículos do ciclo Otto, que não atendam aos limites máximos de ruído em aceleração estabelecidos nas Resoluções CONAMA nºs 2 e 8, de 1993 e para os modelos de

veículos do ciclo Diesel produzidos até 31 de dezembro de 1998, são estabelecidos os limites máximos de ruído emitidos por veículos automotores na condição parado, conforme a tabela 8:

Na cidade de Curitiba a lei municipal 10.625/02 (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2002) por sua vez dispõe sobre ruído urbano, proteção do bem estar e do sossego público. Esta lei determina os valores dos níveis sonoros máximos permitidos em função do período do dia por região de zoneamento, lei municipal 9800/2000 figura 21, sendo os períodos definidos em:

- Diurno das 07h01min às 19h00min;
- Vespertino das 19h01min às 22h00min;
- Noturno das 22h01min às 07h00min.

Toda e qualquer atividade não pode exceder os níveis máximos de pressão sonora equivalente regulamentado para a específica zona de uso em que ocorre, conforme os valores apresentados na tabela 9. A lei municipal também detalhada os valores das penalizações e as sanções caso haja o descumprimento de qualquer dispositivo.

A lei municipal ainda estabelece que:

“Quando a propriedade que sofre o incômodo tratar-se de escola, creche, biblioteca pública, hospital, ambulatório, casa de saúde ou similar com leitos para internamento, hotel ou similar, devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1, independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200 m (duzentos metros) de distância, definida como zona de silêncio.”Lei Municipal nº 10.625/02 (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2002).

TABELA 8 - LIMITES MÁXIMOS DE RUÍDO EMITIDOS POR VEÍCULOS AUTOMOTORES NA CONDIÇÃO PARADO PARA FINS DE INSPEÇÃO E FISCALIZAÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES EM USO

CATEGORIA		Posição do Motor	NÍVEL DE RUÍDO dB(A)
Veículo de passageiros até nove lugares e		Dianteiro	95
Veículos de uso misto derivado de automóvel		Traseiro	103
Veículo de passageiros com mais de nove lugares, Veículo de carga ou de tração, veículo de uso misto não derivado de automóvel	Peso Bruto Total até 2.000 kg	Dianteiro	95
		Traseiro	103
	Peso Bruto Total acima de 2.000 kg e até 3.500 kg	Dianteiro	95
		Traseiro	103
Veículo de passageiros ou de uso misto com mais de 9 lugares e Peso Bruto Total acima de 3.500 kg	Potência máxima abaixo de 150 kW(204 CV)	Dianteiro	92
		Traseiro e entre eixos	98
	Potência máxima igual ou superior a 150 kW (204CV)	Dianteiro	92
		Traseiro e entre eixos	98
Veículo de carga ou de tração com Peso Bruto Total acima de 3.500 kg	Potência máxima abaixo de 75 kW (102CV)	Todas	101
	Potência máxima entre 75 e 150 kW (102 a 204 CV)		
	Potência máxima igual ou superior a 150 kW (204CV)		
Motocicletas, motonetas, ciclomotores, bicicletas com motor auxiliar e veículos assemelhados		Todas	99

Fonte: (CONAMA, 1999)

TABELA 9 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDO – LEI MUNICIPAL Nº 10.625/02

ZONAS DE USO (figura 21)	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55dB (A)	50 dB (A)	45 dB (A)
ZR-OC, ZR-SF, ZR-U, ZUC-II, ZT-MF, ZT-NC, ZE-E, ZE-M, ZOO, SE-CC, SE-PS, SE-OI, APA-ST	60dB (A)	55 dB (A)	50 dB (A)
ZR-4, ZC, ZT-BR-116, ZUM, ZE-D, SE, SH, SE-BR-116, SE-MF, SE-CF, SE-WB, SE-AC, SE-CB, CONEC, SE-PE, SC-SF, SC-UM, SE-NC, SEI, SEHIS, SE-LE, SEVC-PASSAÚNA, SEVS-PASSAÚNA, APA-SS, Vias prioritárias 1 e 2, Vias setoriais, Vias coletoras 1,2 e 3	65dB (A)	60 dB (A)	55 dB (A)
ZS-1, ZS-2, ZES, ZI, ZEI-I (CIC), APA-SUE	70 dB (A)	60 dB (A)	60 dB (A)

Fonte: (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2002)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 INTRODUÇÃO

A expansão das atividades da UTFPR em Curitiba para o novo campus Ecoville, em face da saturação do campus Centro, consiste em uma ação de longo prazo que exige planejamento e uma série de informações e projetos. Este trabalho visa produzir informações detalhadas sobre o impacto da poluição sonora por meio do mapa acústico com a distribuição do ruído de tráfego em todo o campus e pelas fachadas dos prédios, considerando diversos cenários futuros possíveis.

As seguintes etapas foram realizadas para a obtenção destas informações:

- Caracterização da área de estudo;
- Medição dos níveis de ruído e contagem de veículos *in situ*;
- Tabulações dos dados coletados;
- Simulação computacional;
- Proposição de medidas mitigadoras;
- Conclusão.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

5.2.1 Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR é a uma universidade multicampi localizada no Estado do Paraná distribuída em 13 campus por 12 municípios e faz parte da rede de Instituições de Ensino Federal Superior, IFES, ligada ao Ministério da Educação.

A UTFPR atua na área de graduação, com 89 cursos superiores, pós-graduação, com 90 cursos de especialização, 26 mestrados e 5 doutorados e em cursos na área de ensino técnico profissionalizante contando com mais 12 cursos técnico. A universidade atua também na área de extensão universitária por meio de relações com o segmento empresarial, sociedade organizada e

comunitária em atividades de pesquisa, treinamento e atividades sociais e culturais. A UTFPR conta com a colaboração de 2.000 professores e 976 técnico-administrativos e com um expressivo número de estudantes, cerca de 25.000 alunos.

5.2.2 Campus Ecoville

O foco do estudo deste trabalho foi a distribuição do ruído de tráfego no Campus Ecoville da UTFPR. O campus Ecoville da UTFPR está localizado na cidade de Curitiba no bairro Campo Comprido no endereço Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900, CEP 81280-340. O campus é composto de dois terrenos com um total de 58.000 m² separados pela Rua Deputado Heitor Alencar Furtado e delimitados pelas ruas Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, Rua Padre Paulo Warkocz, Rua Monsenhor Ivo Zanlorenzi e Rua Rogério Pereira de Camargo Figura 22.



FIGURA 22 - VISTA AÉREA COM A LOCALIZAÇÃO DO CAMPUS ECOVILLE

fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps, (Google, 2013)

O campus está localizado no Setor Especial Nova Curitiba, SE-NC figura 23, que no art. 16 da lei de zoneamento e uso de solo da cidade de Curitiba, Lei 9.800/2000 estabelece que este setor constitui-se num eixo de desenvolvimento urbano de ocupação mista caracterizado por um trinário, sistema viário estrutural composto por uma via central e duas vias externas, sendo a via central aquela que contém a canaleta para o transporte de massa e as pistas lentas para atendimento as atividades lindeiras, e as vias externas, as ruas paralelas com sentido único de tráfego destinada ao fluxo contínuo de veículos (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2000).

A Lei Municipal nº 10.625/02 estabelece para esta região um limite máximo permitido de ruído de 65 dB(A), mas como o campus classifica-se como “escola”, por esta mesma legislação devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1, independentemente da zona de uso e deve ser observado o raio de 200 m de distância, definida como zona de silêncio. Portanto o limite máximo permitido de ruído passa a ser de 55 dB(A) (Prefeitura Municipal de Curitiba, 2002).

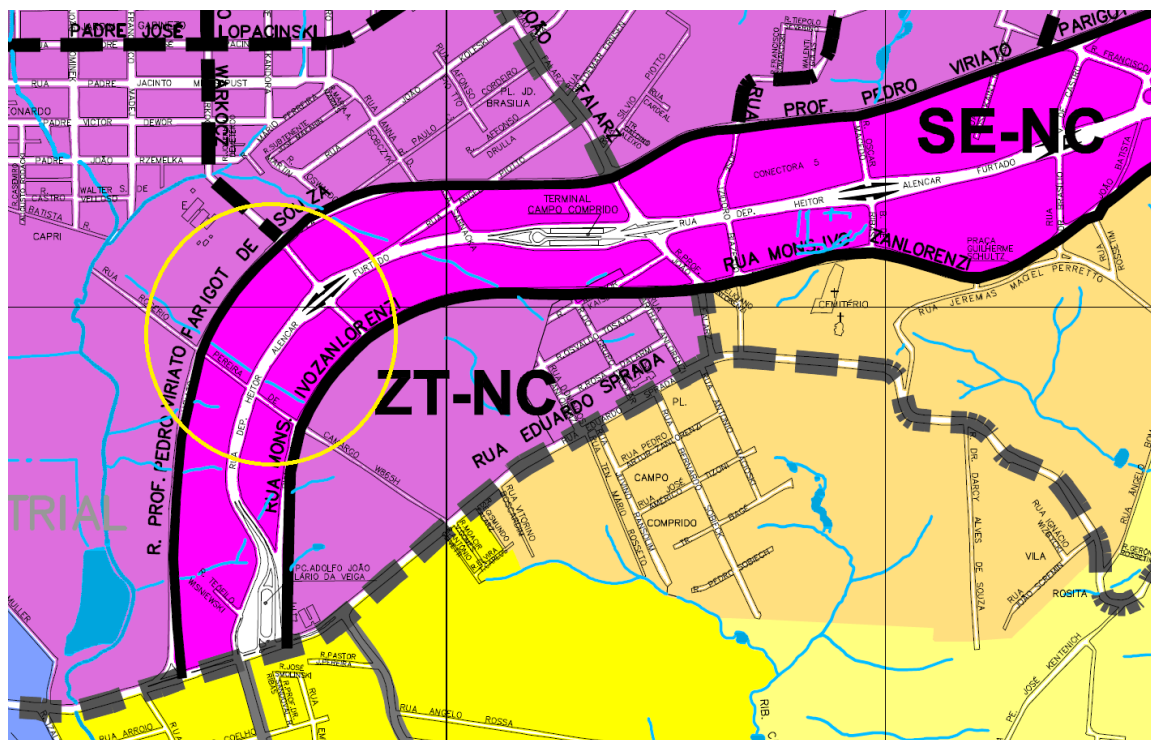


FIGURA 23 - SETOR ESPECIAL NOVA CURITIBA, COM A LOCALIZAÇÃO DO CAMPUS ECOVILLE NA ÁREA DELIMITADA PELO CÍRCULO AMARELO.

Adaptado de (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2000)

O trinário a que se refere a lei de uso de solo e zoneamento trata-se da via central Rua Deputado Heitor Alencar Furtado e das vias externas Rua Professor Pedro Viriato Parigot e Rua Monsenhor Ivo Zanlorenzi.

A via central, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, possui seis pistas de mão dupla asfaltadas, sendo duas centrais, exclusivas para o serviço de transporte público de passageiros, e quatro laterais com duas pistas de trânsito de veículos e duas pistas de estacionamento, figura 24 sentido bairro e figura 25 sentido centro. As pistas laterais são separadas das centrais por um canteiro com calçada, sendo que as pistas de estacionamento ficam do lado de dentro da via próximo a este canteiro. As pistas laterais para atividades lindeiras possuem uma velocidade máxima de 40Km/h.



FIGURA 24 - RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO SENTIDO BAIRRO, PRÓXIMO À ESQUINA R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO.

fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps, (Google, 2013)

A via externa, destinada ao fluxo contínuo de veículos, Rua Professor Pedro Viriato Parigot de Souza, figura 26, conta com quatro pistas asfaltadas de mão única sentido centro-bairro, com velocidade máxima de 60Km/h sem pista de acostamento ou de estacionamento.



FIGURA 25 - RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO SENTIDO CENTRO, PRÓXIMO À ESQUINA R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO
fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps, (Google, 2013)

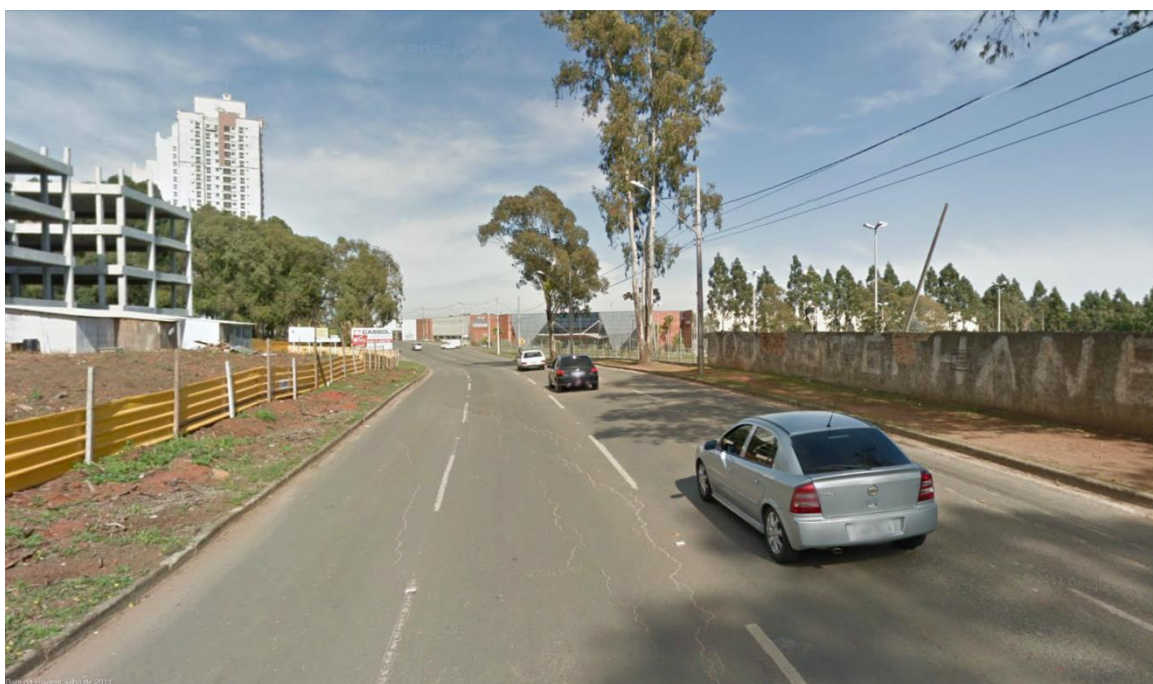


FIGURA 26 - RUA PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA, PRÓXIMO À ESQUINA COM A RUA R. PE. PAULO WARKOCZ
fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps, (Google, 2013)

A outra via externa, destinada ao fluxo contínuo de veículos, Rua Monsenhor Ivo Zanlorenzi, figura 27, conta com quatro pistas asfaltadas de mão única sentido bairro-centro, com velocidade máxima de 60Km/h sem pista de acostamento ou de estacionamento.

As duas quadras em que se situa o Campus Ecoville também são delimitadas Rua Padre Paulo Warkocz, com duas pistas asfaltadas de mão dupla sem interseção com a via central, passando por baixo de um viaduto vista na figura 28, entre as ruas R. Monsenhor Ivo Zanlorenzi e R. Deputado Heitor Alencar Furtado, e na figura 29, entre a R. Deputado Heitor Alencar Furtado e Rua Professor Pedro Viriato Parigot se Souza.

E, completando a descrição das vias que delimitam o campus, a Rua Rogério Pereira de Camargo, com duas pistas sem pavimentação de mão dupla e de baixa circulação de veículos, sendo visualizada na figura 30, entre a R. Professor Pedro Viriato Parigot de Souza e a R. Deputado Heitor Alencar Furtado e na figura 31, entre a R. Deputado Heitor Alencar Furtado e a R. Monsenhor Ivo Zanlorenzi. Esta rua não cruza a via central sendo interrompida no ponto de intersecção com a mesma



FIGURA 27 - MONSENHOR IVO ZANLORENZI, SENTIDO BAIRRO CENTRO, PRÓXIMO A ESQUINA COM A R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO

fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps (Google, 2013)



FIGURA 28 - R. PADRE PAULO WARKOCZ, RUA DE MÃO DUPLA, ENTRE A R. MONSENHOR IVO ZANLORENZI E R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO.
fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps (Google, 2013)



FIGURA 29 - PADRE PAULO WARKOCZ LATERAL, RUA DE MÃO DUPLA, ENTRE A R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E RUA PROFESSOR PEDRO VIRIATO PARIGOT SE SOUZA.
fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps (Google, 2013)



FIGURA 30 - R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO, FIGURA 42, ENTRE A R. PROFESSOR PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA E A R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO.
 fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps (Google, 2013)

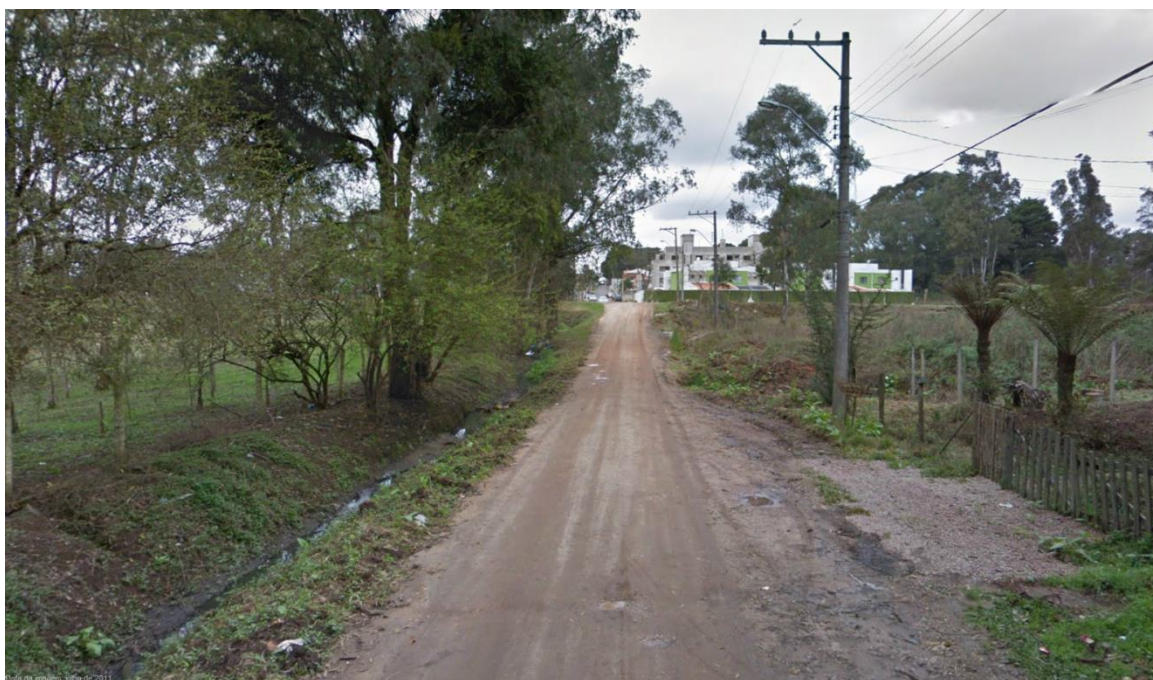


FIGURA 31 - R. ROGÉRIO PEREIRA DE CAMARGO, ENTRE A R. DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E A R. MONSENHOR IVO ZANLORENZI
 fonte: inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps (Google, 2013)

A implantação do campus começou no ano de 2001 com o início das obras dos Blocos A e B. Na figura 32 uma foto tirada em outubro de 2006, mostrando os Blocos A e B já construídos e o início da construção do Bloco N, junto a Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, (UTFPR, 2013).



FIGURA 32 - FOTO AÉREA DO INÍCIO DA CONSTRUÇÃO DO BLOCO N, EM OUTUBRO DE 2006, COM VISTA DA PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA
Fonte: (UTFPR, 2013).

O plano Diretor de 2013 prevê a ocupação máxima permitida por lei para o campus Ecoville, figura 33, com previsão para conclusão das obras até o ano de 2016. Atualmente estão em fase de construção final os Bloco E e M, e em fase inicial de Construção os Blocos K e L. As obras dos blocos G, H e L ainda não foram iniciadas.



FIGURA 33 - PLANO DIRETOR CAMPUS ECOVILLE.

Fonte: Adaptado de UFPR (2013).

No Plano diretor está definida a seguinte alocação dos espaços construídos:

Bloco A: Departamento do Departamento Acadêmico de Construção Civil, curso de Arquitetura e Urbanismo, curso de Engenharia Civil, salas de aula e laboratórios;

Bloco B: Diretoria do campus, biblioteca setorial, salas de aula, restaurante universitário e cantina;

Bloco C: Departamento do Departamento Acadêmico de Química e Biologia, curso de Bacharelado em Química, curso de Tecnologia em Processos Ambientais, salas de aula e laboratórios, figura 34;

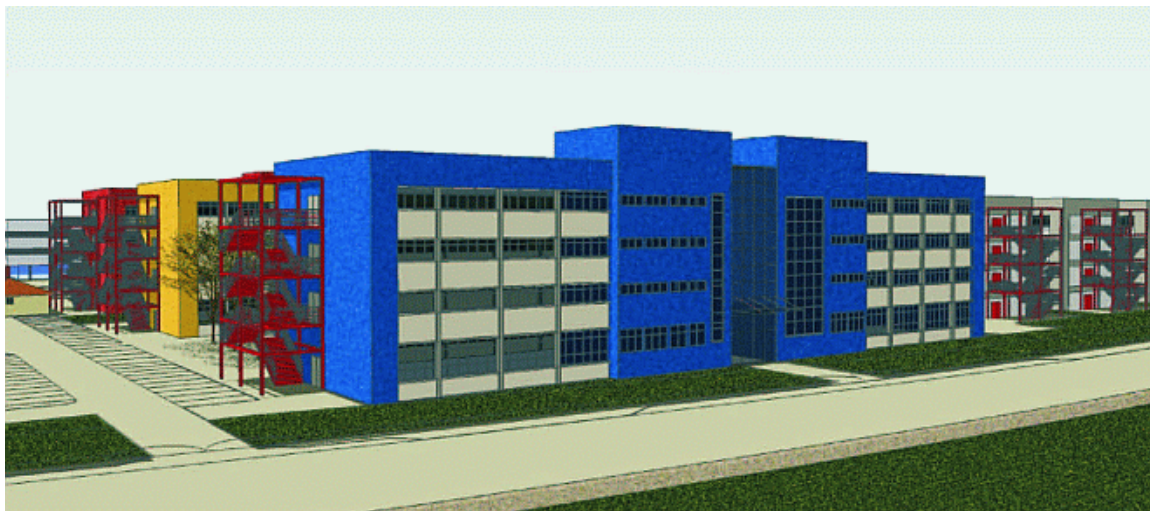


FIGURA 34 - BOCO C, VISTA DE MAQUETE ELETRÔNICA.

Fonte: (UTFPR, 2013).

Bloco D: curso de Engenharia Ambiental, salas de aula e laboratórios;

Bloco E: curso de Tecnologia em Processos Ambientais, Curso de Engenharia Ambiental, salas de aula e laboratórios;

Bloco F: curso de Engenharia Ambiental, salas de aula e laboratórios;

Bloco G: Prédio garagem;

Bloco H: Prédio para a Biblioteca do central do Campus Ecoville e instalações do Teatro;

Bloco I-J: curso de Arquitetura e Urbanismo, curso de Engenharia Civil, salas de aula e laboratórios;

Bloco K: Departamento do Departamento Acadêmico de Mecânica, Pós-graduação em Engenharia Mecânica, curso de Engenharia Mecânica, Curso de Tecnologia em Mecatrônica, laboratórios;

Bloco L: Diretoria de Relações Empresariais, laboratórios, salas de aula, anfiteatro, hotel tecnológico;

Bloco M: curso de Engenharia Mecânica, curso de Tecnologia em Mecatrônica, salas de aula, laboratórios;

Bloco N: Departamento do Departamento Acadêmico de Mecânica; Laboratórios de Ciências Térmicas, convênio Petrobras, figura 35;

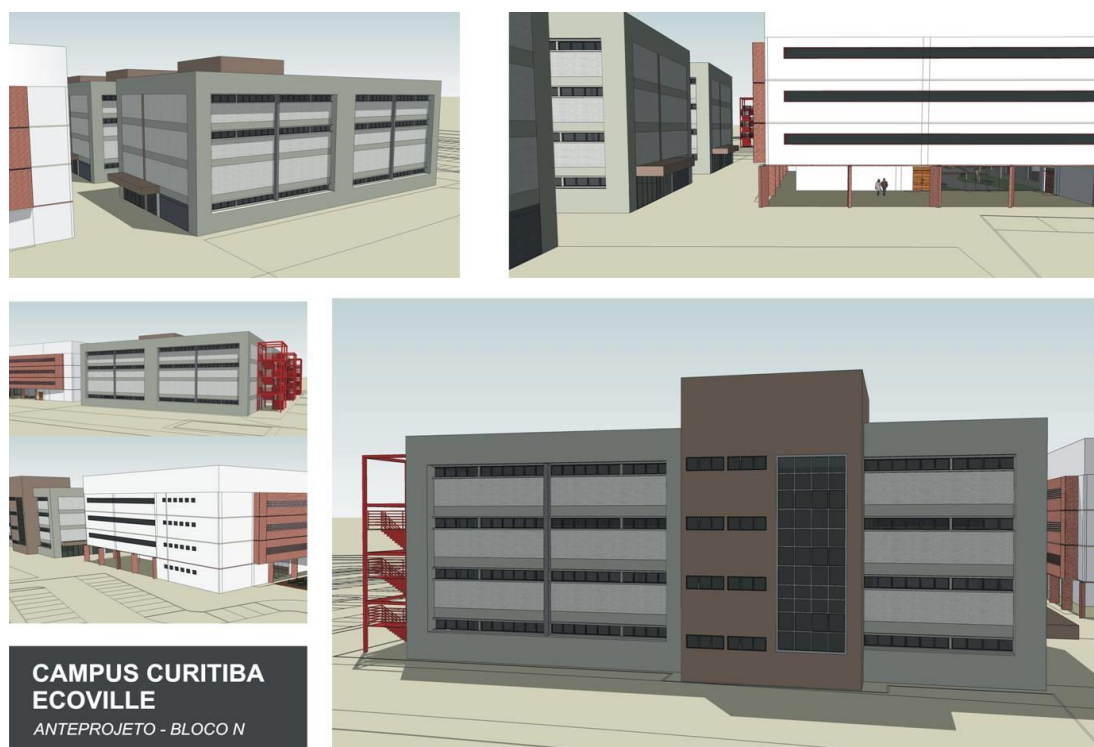


FIGURA 35- MAQUETE ELETRÔNICA DO BLOCO N
Fonte: (UTFPR, 2013).

5.3 MEDIÇÃO DOS NÍVEIS DE RUÍDO E CONTAGEM DE VEÍCULOS *IN SITU*

5.3.1 Localização dos pontos de medição

Para as medições do Nível de Pressão Sonora foi considerado o disposto pela norma brasileira NBR 10151/2000 conforme as recomendações da norma internacional ISO 1996, partes 1 e 2.

A NBR 10151/2000 dispõe que as medições de ruído externas devem ser realizadas a uma distância mínima de 2m de superfícies refletoras do som, muros e fachadas, e a uma altura de 1,2m do solo, foi considerada ainda uma distância de 1m da borda da pista, figura 36.

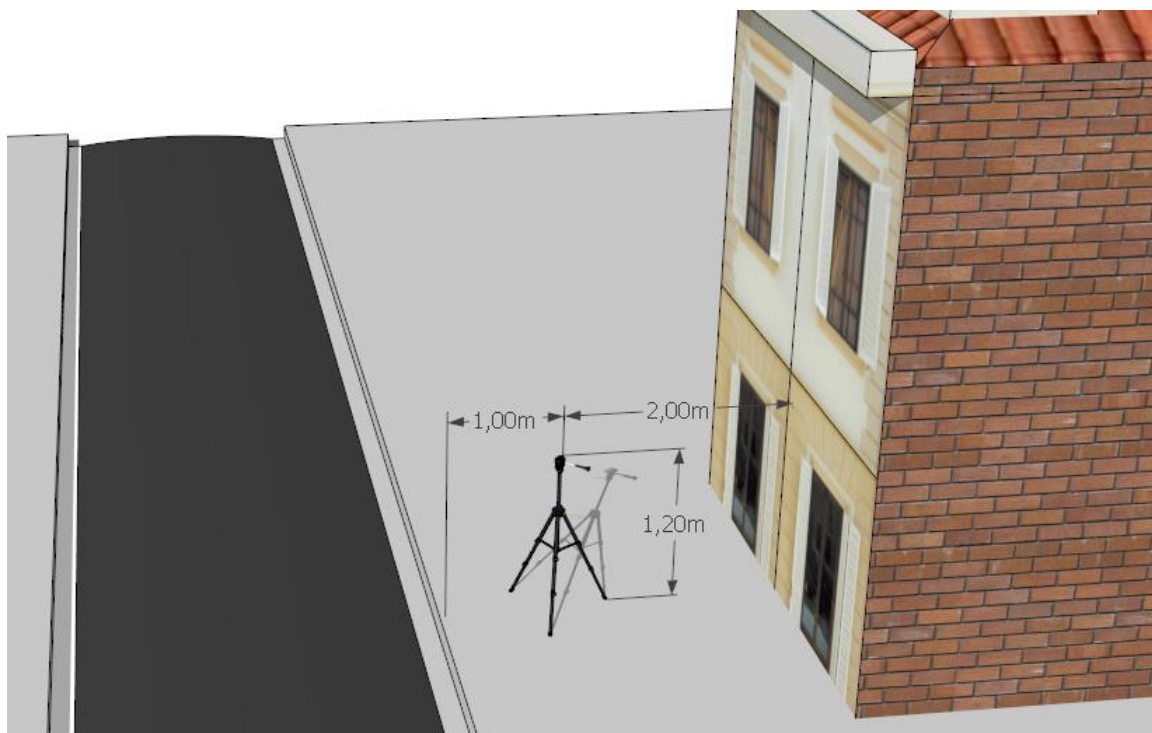


FIGURA 36 - DISTÂNCIAS TOMADAS AO POSICIONAR O MEDIDOR EM CAMPO.

Fonte: o Autor (2013)

As medições dos níveis de pressão sonora foram realizadas com a utilização de um analisador integrador, calibrado logo antes das medições. Tanto o medidor quanto o calibrador são do tipo 1, segundo IEC 60651. As medições foram realizadas em boas condições meteorológicas, sem chuva ou vento forte:

- Medidor analisador sonoro Solo Black edition, figura 37-c, tipo I, ajustado para realizar leitura do parâmetro LA_{eq} em 1/1 oitava, entre 16 e 20.000 Hz, em modo *fast* com faixa dinâmica de 30 a 110 dB. O medidor estava equipado com o microfone MCE 212, figura 37-a, de ½" e com o pré-amplificador PRE 21S, figura 30-c, todos de fabricação da 01dB;
- Um calibrador modelo Cal 21 da marca 01dB, figura 38;
- Protetor de vento para o microfone (*windscreen*);
- Cabo de USB para conexão de descarregamento de dados;
- Programa de computador 01dB dBSLM32 para descarregamento dos dados de medição;
- Programa de computador 01dB dBENV32 para cálculo das medições;

- Programa de computador Microsoft Excel 2010, para confecção dos gráficos;
- Programa de computador Predictor 8.11 modelo 7810 para a realização dos mapas acústicos;

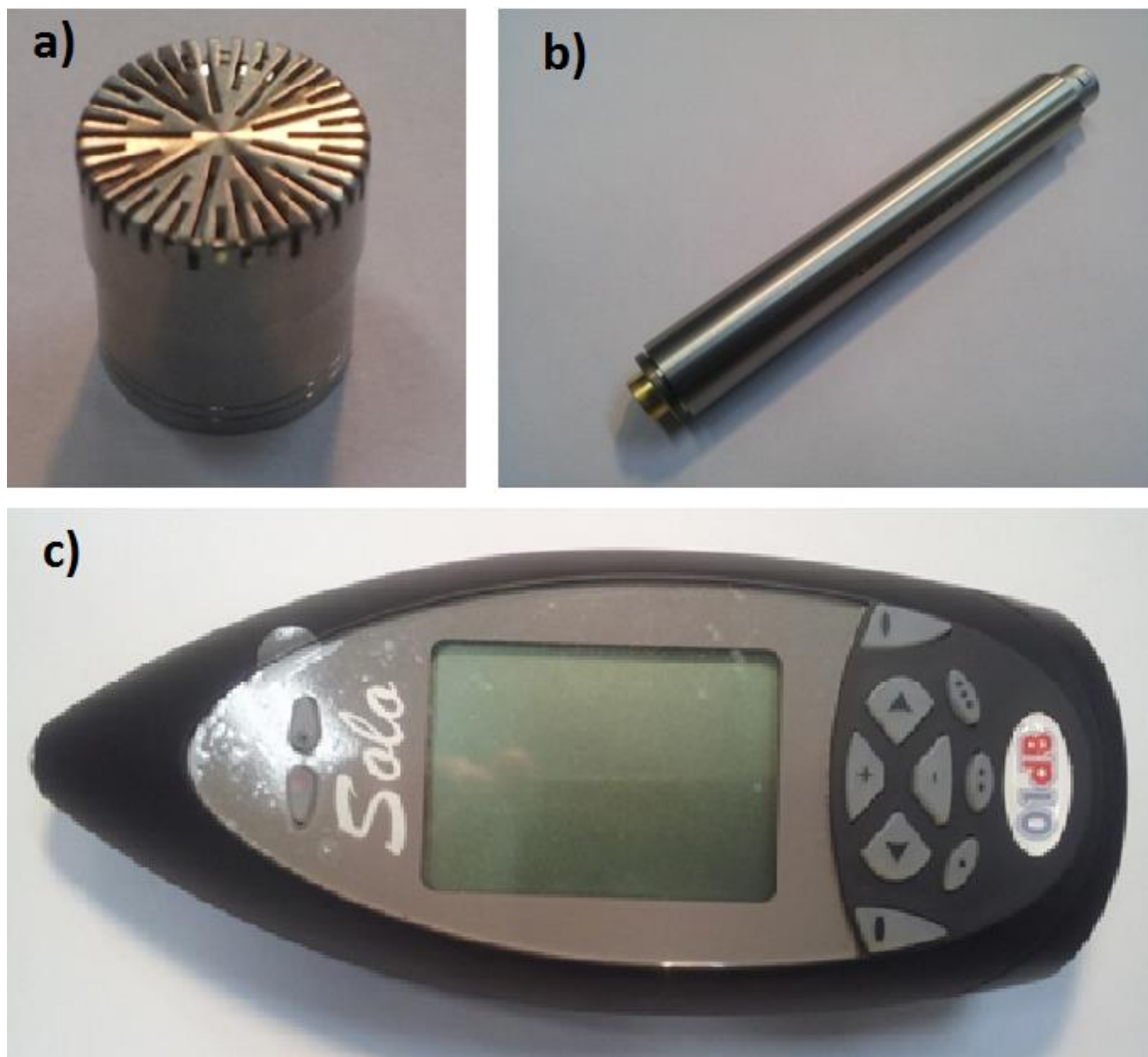


FIGURA 37 – MEDIDOR DE NÍVL DE PRESSÃO SONORA
A) MICROFONE 01DB MCE 212 DE ½”;
B) PRÉ-AMPLIFICADOR 01DB PRE 21S;
C) MEDIDOR INTEGRADOR 01DB SOLO BLACK EDITION;
Fonte: o Autor (2013)



FIGURA 38 – CALIBRADOR 01DB MODELO CAL 21

Fonte: o Autor (2013)

As medições foram realizadas todas no mesmo dia, 9 de novembro de 2012, no período diurno, das 12:00h às 19:00h, horário do trânsito mais intenso. Durante a medição todas as ocorrências foram anotadas, para que eventos sonoros que fugissem a normalidade não alterassem significativamente os resultados, sirene de ambulância, veículo com problemas no escapamento ou buzinando, etc. Entretanto nenhuma ocorrência foi observada. Caso houvesse alguma dessas ocorrências seria feito um tratamento os dados por meio do programa dBENV32 excluindo este evento da composição do valor médio equivalente.

Foi realizado um total de 22 pontos de medição conforme posicionamento encontrado na figura 39. Em cada ponto foi realizada simultaneamente a medição de ruído e a contagem de veículos para composição do tráfego, com exceção dos pontos 8, 9 e 15 onde não houve contagem de veículos, por estarem situados em regiões internas à quadra da universidade, e dos pontos 20, 21 e 22 onde não houve a medição do ruído, por não estarem localizados na quadra da universidade.

O tempo de medição, segundo a NBR10151/2000, deve ser suficiente para permitir a caracterização do ruído em estudo. Em estudos semelhantes de ruído de tráfego rodoviário, encontraram-se tempos de medição que variavam entre 1 e 15 minutos, 3 minutos (ZANNIN *et al*, 2013), 5 minutos (PAZ, 2004; SOUZA, 2010; SU *et al*, 2013; NAGEM, 2004; FRANCISCA *et al*, 2010), 10 minutos (FIEDLER, 2013; OTUTU, 2011; PHUKAN; KALITA, 2013; ZHOU *et al*,

2012), 15 minutos (YOZA *et al*, 2007). Zannin *et al*, (2013) fizeram um estudo comparativo entre medições com diferentes durações, 3, 5 e 60 minutos, para um mesmo ponto de medição sendo encontrada uma diferença máxima de 2dB(A). Esta pequena variação deve-se ao fato que o ruído de trânsito para vias de maior fluxo de veículos apresenta pequenas oscilações aproximando-se de um ruído contínuo estacionário. Neste trabalho foi adotado um tempo de medição de 15 minutos. Os níveis de ruído foram medidos por meio dos indicadores de nível equivalente com ponderação A, LA_{eq} , e níveis máximos e mínimos encontrados LA_{max} e LA_{min} .

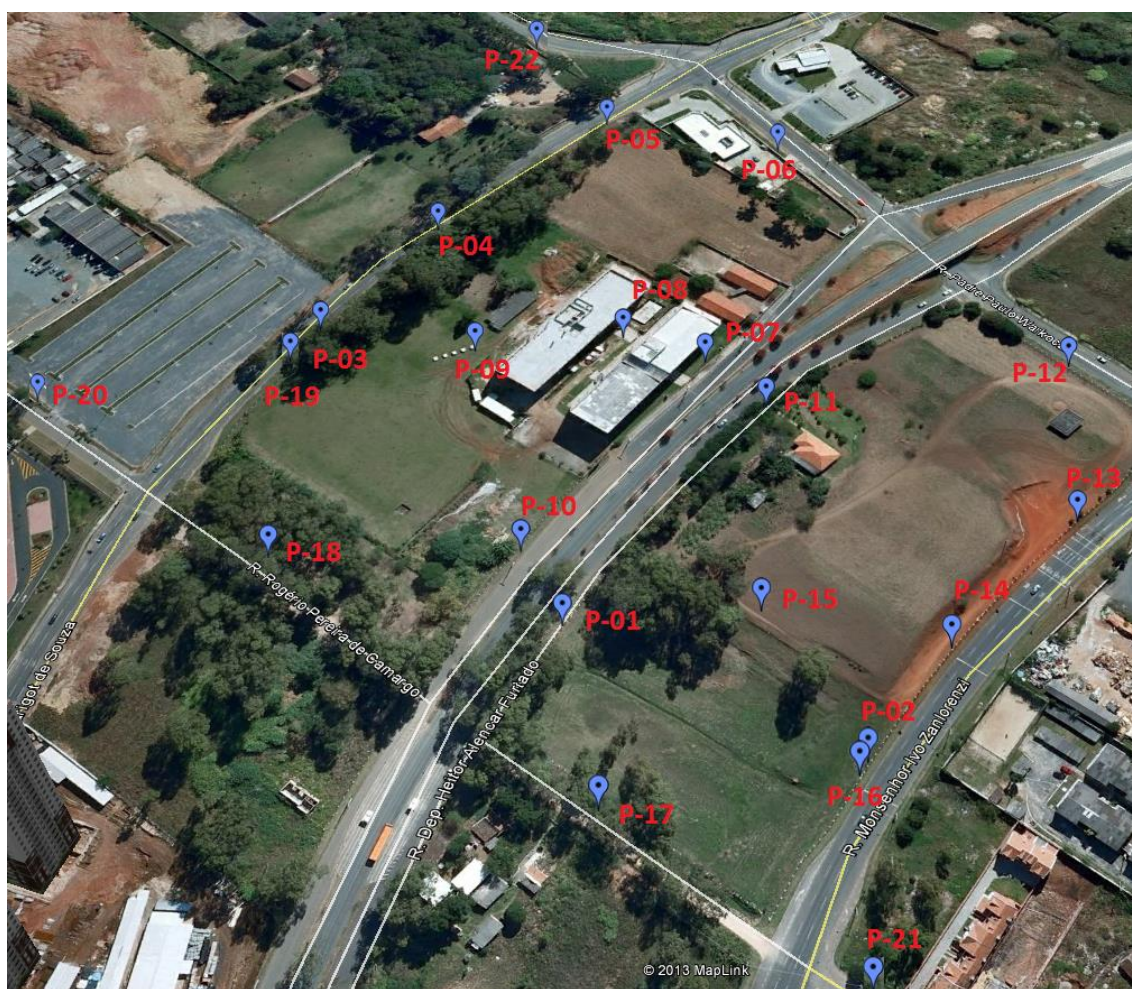


FIGURA 39 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS COLETADOS NO DIA 9 DE NOVEMBRO DE 2012.

fonte: adaptado de inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps (Google, 2013)

A contagem de veículos, individualizada para cada tipo de veículo, foi realizada considerando as pistas de mesmo sentido como um fluxo único de veículos e as pistas de diferente sentido como dois fluxos diferentes de veículos

foi adotada uma convenção para identificar a contagem de veículos em cada um destes fluxos de veículos, conforme figura 40.



FIGURA 40 - SENTIDO DA CONTAGEM DOS VEÍCULOS

fonte: adaptado de inav/geosistemas srl, 2009 in Google Maps (Google, 2013)

5.3.2 Tabulação dos dados

A contagem de veículos foi realizada em um período de 15 minutos, mas os dados inseridos no programa de computador *Predictor* são para períodos de 1h. Para o cenário presente foram calculados em uma planilha os valores referentes à média horária bem como os percentuais de tráfego para cada tipo de veículo, planilha no apêndice A. Para o cenário futuro com o campus Ecoville totalmente, projetado para o ano de 2018, foram feitas projeções do fluxos de veículos estimados em uma taxa de crescimento anual de 5,6% ao ano (DETRAN-PR, 2013), calculados nas planilhas do apêndice B.

5.4 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

A etapa de simulação computacional serviu para a confecção dos mapas acústicos dos cenários analisados. O programa de computador utilizado para esta simulação foi o *Predictor 8.11* da Bruel & Kjaer. Este programa gera uma malha em toda região a ser analisada e para cada nó desta malha calcula os níveis de pressão sonora levando em conta a topografia do terreno, interferência, reflexão e difração das construções e das superfícies existentes sobre os níveis de pressão sonora emitidos pelas vias de trânsito de veículos (Bruel & Kjaer, 2010).

Os mapas sonoros são então obtidos por interpolação dos níveis de pressão calculados para cada nó da malha, gerando curvas de mesmo nível de ruído. Para melhor visualização cada curva ou as regiões delimitadas por estas curvas podem ser associadas a uma escala de cores relacionadas ao nível de ruído indicado (Bruel & Kjaer, 2010).

Dentre os modelos de simulação disponibilizados pelo Programa *Predictor* foi adotado o modelo ISO 9613-1/2 Road que atende a todas as especificações necessárias para a obtenção do mapa acústico e que já vem sendo usado largamente em trabalhos e publicações encontrados na literatura (ZANNIN; SANT'ANA, 2011; LEE *et al*, 2008; CHO *et al*, 2004; CHO; MUN, 2008; FIEDLER *et al*, 2012). Segundo Bies e Hansen, (2009) o método ISO apesar de não ser muito complexo produz resultados dentro da precisão recomenda pela WG-AEN (2002).

O módulo de ruído rodoviário ISO 9613-2 é utilizado para o cálculo dos níveis de pressão sonora em ambientes externos e considera que a propagação do som é atenuada, refletida e absorvida ao longo do caminho. Para estes cálculos são tomadas informações a respeito das correções para a absorção atmosférica, umidade relativa e temperatura do ar, reflexões, efeitos da topografia do solo, efeitos dos obstáculos e barreiras, edificações e vegetação além de efeitos de vento e absorção do solo (Bruel & Kjaer, 2010).

As fórmulas de cálculo baseadas na ISO 9613 -1/2 do *Predictor* são as seguintes (Bruel & Kjaer, 2010):

$L_{lt,per}$: Média de oitava de longa duração em 1/3 de oitava durante o período de avaliação, equação 8:

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

Onde:

C_m : Correção metereológica em dB

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

L_{dw} : Equivalente contínua de oitava a favor do vento Nível de Pressão Sonora em dB(A), equação 9:

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

Onde:

L_w : Nível de Pressão Sonora em dB(A) por oitava;

R : Redução na fonte definida pelo usuário em dB por oitava;

A : Atenuação (banda de oitava) em dB por oitava equação 10;

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

Onde:

D_c : Correção de diretividade em dB

A_{div} : Divergência geométrica em dB

A_{atm} : Absorção atmosférica em dB/oitavas

A_{agr} : Efeito do solo em dB/oitavas

A_{bar} : varredura em dB/oitavas

A_{fol} : Atenuação devido à folhagem em dB/oitavas

A_{site} : Atenuação devido a instalações ou local industrial em dB/oitavas

A_{hous} : Atenuação devido à habitação em dB

Antes do início dos cálculos os parâmetros de atenuação são estabelecidos. Estes parâmetros são opções para o cálculo da correção meteorológica, atenuação do solo, absorção do ar, e o ângulo de visão usado para dividir as fontes de linha e estradas até em diversas fontes pontuais (BRUEL & KJAER, 2010).

A parte que consome mais tempo do cálculo é a atenuação A. Para cada combinação de ponto-fonte e receptor faz cruzamentos para o caminho de som direto, bem como todos os possíveis caminhos sonoros de reflexão em objetos refletores, tais como edifícios ou barreiras. Apenas reflexões de primeira ordem são levadas em conta. Todas as distâncias e alturas dos itens em interseções são determinadas, bem como desvios verticais e horizontais para itens de triagem. Com base nas interseções e nos desvios, a atenuação e as correções são determinadas (BRUEL & KJAER, 2010).

O item estrada é usado para modelar o Nível de Pressão Sonora emitidos pelas rodovias. A emissão sonora pode ser dada por potência sonora por metro, mas também por número de veículos por hora, velocidade e tipo de superfície. Se o número de veículos é usado na emissão sonora, é calculado automaticamente de acordo com a norma RMV-SRM2 (BRUEL & KJAER, 2010).

A Norma RMV-SRM2 define quatro categorias de veículos. Estas categorias são motocicletas, veículos leves, caminhões leves e caminhões pesados, onde:

- Motocicletas: motocicletas, ciclomotores e motocicletas com *sidecar*;
- Veículos leves: carros, vans com um único eixo traseiro com no máximo duas rodas;
- Caminhões leves: Ônibus, micro ônibus, caminhões não articulados com um único eixo traseiro;
- Caminhões pesados: Veículos articulados, veículos com mais de um eixo traseiro, excluindo ônibus e micro ônibus.

A potência sonora por categoria de veículo é calculada pela equação 11, (BRUEL & KJAER, 2010).

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

Onde:

Q é a média do fluxo de tráfego em número de veículos por hora.

V é a média da velocidade em Km/hora.

a é a parte não-dependente da velocidade da potência sonora para um veículo em dB(A).

b é a parte dependente da velocidade da potência sonora para um veículo em dB(A)*hora/km.

C_{wh} é a correção combinada para o tipo de superfície e declive em dB.

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

Onde:

C_w é a correção da superfície em dB.

C_h é a correção do declive em dB.

$$C_h = 5 \lg(\text{ph}) - 1,5 \quad (13)$$

Onde:

ph é o declive em %.

Toda região a ser simulada é dividida em uma malha usada como base para o cálculo dos contornos dos níveis de pressão sonora. Para cada nó desta malha é realizado o cálculo do nível de pressão sonora, considerando este como um ponto receptor. Espaçamentos maiores, cerca de 10m para o tamanho da área simulada, produzem curvas de baixa resolução a um tempo de processamento rápido. Espaçamentos menores, mínimo de 1m admissível pelo

programa, produzem curvas de mesmo nível de pressão sonora bem precisa, mas a um grande custo computacional.

A rodovia é dividida em fontes pontuais sendo que a atenuação entre cada ponto emissor da rodovia e cada ponto receptor da malha será calculada individualmente. A atenuação total será resultante da soma das atenuações combinadas de todos os pontos emissores para cada ponto receptor.

Por interpolação bidimensional dos valores calculados para cada nó da malha é obtido um gradiente dos níveis de pressão sonora, expresso por variação de cores ou por curvas de níveis de pressão sonora.

5.4.1 Modelagem Computacional

O modelo foi gerado com a introdução no programa de parâmetros físicos, geométricos, condições do tráfego e aspectos acústicos de todos os elementos e superfícies existentes. As seguintes informações foram providenciadas para que o cálculo fosse devidamente realizado:

- Curvas topográficas georeferenciadas da região do campus;
- contagem de veículos das vias públicas no entorno da universidade para cada cenário a ser produzido;
- velocidade média dos veículos nas vias públicas;
- plano diretor do Campus Ecoville com o correto posicionamento e com as dimensões externas de todos os edifícios do campus;
- dimensões das construções e edifícios da vizinhança do campus;
- medição do LAeq a 1m das vias públicas no entorno do campus;
- medição do LAeq em pontos estratégicos dentro do campus;

Os dados cartográficos georeferenciados com a topografia do terreno em curvas de nível de 5 em 5 metros, o arruamento do bairro e as ortofotocartas da região foram obtidos através da base de dados denominada Curitiba Digital – Edição 2006/CD-ROM, do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC (IPPUC, 2006) e foram importadas para dentro do software *Predictor*.

Para obter as construções em 3D na região analisada foi utilizado o plano diretor do campus e os desenhos fornecidos pelo departamento de projetos da UTFPR (UTFPR, 2013). Quanto às construções das demais quadras foram utilizadas as ortofotos a norte, sul, leste e oeste produzidas pelo INAV/GEOSISTEMAS e disponibilizadas pelo Google Maps (GOOGLE, 2013). Por meio das ortofotos foi calculada as dimensões da planta e da altura dos edifícios e das construções.

O número de pistas de cada via foi conferido no local para se definir exatamente o eixo das vias. Desta forma, em vias com duas pistas ou mais onde há veículos trafegando nos dois sentidos ou em apenas um sentido, a caracterização se dá por apenas uma linha de emissão. Já em vias separadas por canteiros centrais, foi adotada uma linha de emissão para cada via. Para cada linha de emissão (via) são inseridos: o fluxo de tráfego horário de cada categoria de veículos, o tipo de pavimento (asfalto) adotado e a velocidade que trafega cada categoria de veículos (BRUEL & KJAER, 2010; WG-AEN, 2002).

Para a velocidade do fluxo dos veículos foi anotada a velocidade de deslocamento indicada no velocímetro de um veículo em deslocamento no fluxo de veículos para cada rua e em cada sentido de deslocamento (WG-AEN, 2002).

Após a todas as informações e desenhos serem introduzidos no programa de computador foi gerado um modelo 3D utilizando os dados topográficos para a geração do terreno, os desenhos e elevação dos edifícios para a geração dos blocos e as linhas de emissão traçadas foram projetadas sobre o terreno, caracterizando o solo, as construções e as vias de trânsito. Se houver alguma falta de informação ou desenhos incompletos, o modelo não é gerado e um relatório é produzido indicando as inconsistências.

5.4.2 Validação do Modelo

A validação do modelo trata-se de verificar se o modelo 3D gerado é representativo da realidade existente. Esta validação consiste em rodar o modelo apenas para os pontos em que se é conhecido o nível de pressão sonora encontrado no local. Para tanto foram introduzidos no modelo pontos receptores à mesma altura e posição daqueles que foram medidos no local.

Como o programa calculou os níveis apenas para estes pontos o cálculo é extremamente rápido permitindo que ajustes sejam realizados até a total compatibilidade do modelo com a situação real. A identidade entre os pontos receptores e os pontos medidos é estabelecida quando a diferença entre os valores medidos e simulados é inferior a 4,6 dB(A) (WG-AEN, 2002).

Os valores medidos e os valores simulados e as diferenças estão indicados na tabela 10

TABELA 10 - VALIDAÇÃO DO MODELO. VALORES MEDIDOS E VALORES SIMULADOS PARA OS MESMOS PONTOS. A DIFERENÇA DEVE SER INFERIOR A 4,6 dB(A).

Ponto Avaliado	Nível de pressão Sonora Equivalente LA _{eq} em dB(A)		Diferença Aritmética entre a Medição e a Simulação em dB(A)
	Valor Medido	Valor Simulado	
P1	67,4	68,1	-0,7
P2	71,1	72,2	-1,1
P3	73,1	73,2	-0,1
P4	72,1	73,4	-1,3
P5	71,0	72,0	-1,0
P6	69,6	72,1	-2,5
P7	66,7	68,2	-1,5
P8	59,3	56,2	3,1
P9	68,5	64,8	3,7
P10	66,1	65,3	0,8
P11	65,4	68,2	-2,8
P12	63,2	67,4	-4,2
P13	67,4	71,2	-3,8
P14	72,4	71,3	1,1
P15	59,0	58,4	0,6
P16	73,5	72,3	1,2
P17	64,2	64,5	-0,3
P18	59,2	62,2	-3,0
P19	74,9	72,4	2,5

Fonte: o Autor (2013)

5.4.3 Cálculo do mapeamento

A última etapa necessária para realizar as simulações é a definição da malha que irá ser utilizada. Ao se criar uma malha o programa irá reconhecer cada nó da malha como um ponto receptor e o processo de cálculo consiste em calculando um ponto emissor para todos os pontos receptores de cada vez, como os pontos emissores deste trabalho são as vias de tráfego de veículos cada linha emissora será dividida em diversos pontos emissores de acordo com a malha escolhida. Neste aspecto dois parâmetros são de vital importância: o tamanho da área da malha e a densidade da malha ou a quantidade de nós. Como o programa irá calcular ponto emissor a ponto receptor, um maior tamanho da área resultará em um maior tempo de processamento (BRUEL & KJAER, 2010).

Quanto ao tamanho da malha, quanto menor a distancia entre os nós maior será a quantidade de pontos em uma mesma área. Como a malha é bidimensional, a quantidade de pontos aumenta ao quadrado da diminuição do tamanho da malha, ao se diminuir uma malha de 20m (malha 20x20) para uma malha de 10m (malha 10x10) termos o quádruplo de pontos e não o dobro de pontos. A redução no tamanho da malha também reflete na quantidade de pontos emissores. Neste caso como se trata de uma linha emissora uma diminuição no tamanho da malha resultará no aumento direto do número de pontos na linha emissora. Neste caso ao se diminuir a malha de 20m para 10m irá dobrar o número de pontos emissores. Logo uma diminuição do tamanho da malha, por exemplo, pela metade, significa em um aumento exponencial da quantidade de cálculos realizadas, neste caso seria o dobro de pontos emissores e o quádruplo de pontos receptores (WG-AEN, 2002; GUEDES; LEITE, 2007).

Sob o ponto de vista dos objetivos do trabalho, uma região muito grande a ser simulada exige uma malha maior. Bairros e regiões inteiras de uma cidade utilizam malhas na ordem de 200m a 100m. Fábricas, parques e conjuntos residenciais utilizam malhas na ordem de 50m a 20m. E por fim um campus universitário poderia utilizar uma malha de 20m, 10m, 5m ou até malhas menores, sempre à custa de um elevado tempo de processamento. Em regiões com poucos pontos de interesse ou poucos habitantes pode ser utilizado uma

malha maior. Em regiões densamente habitadas ou com muitos pontos de interesse, será necessário um tamanho menor de malha (WG-AEN, 2002; GUEDES; LEITE, 2007).

Neste trabalho foram utilizadas dois tipos de malhas, uma malha horizontal para análise da distribuição plana do ruído pelo campus e uma malha vertical para obtenção da distribuição dos níveis de ruído nas fachadas dos edifícios do campus, uma combinação das duas malhas simultaneamente para uma compreensão da distribuição espacial do ruído. A malha horizontal foi localizada a 4m de altura do solo e a malha vertical a 1m das fachadas dos edifícios (WG-AEN, 2002; GUEDES; LEITE, 2007).

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho foram utilizadas três diferentes malhas, uma primeira malha de 10x10m, para os trabalhos preliminares e definições dos cenários, consumindo um tempo de processamento na ordem de 1:30h a 2:00h dependendo da complexidade do cenário. Uma malha de 5x5m para produzir resultados de “baixa resolução”, mas com boa qualidade de imagem e informações, para definir as análises, vistas 3D de fachadas e vistas de mapas 3D, consumindo um tempo de processamento de cerca de 6:00h a 8:00h. Uma malha de 1x1 para produzir as imagens da apresentação final do trabalho, consumindo um tempo de processamento de 21:00h a 28:00h.

6 RESULTADOS E ANÁLISES

As simulações foram realizadas considerando-se dois cenários:

- Cenário atual, 2013: situação com o Campus ainda em implantação com alguns dos edifícios em fase de projeto ou de construção. Este cenário será utilizado para a validação do modelo computacional, pois foi nesta situação que as medições acústicas foram realizadas. Será considerada a contagem de veículos realizada quando das medições acústicas;
- Cenário futuro, 2018: situação com o fim das obras e da implantação e com o campus plenamente estabelecido de acordo como previsto no Plano Diretor. Este cenário baseado em uma situação futura considera a existência de todos os edifícios previstos e que houve um aumento do fluxo de veículos na região;

6.1 CENÁRIO ATUAL - 2013

Para a situação do tempo presente o cenário foi proposto considerando as localidades e construções no estado em que estavam quando das medições. Como este cenário teve por finalidade a validação do modelo computacional e como as informações de maior interesse estarão nos demais cenários as análises conduzidas neste tópico serão voltadas para as funcionalidades do mapa de ruído e da sua eficácia como ferramenta de análise do impacto ambiental do ruído. Este Mapa do Ruído representando o Cenário Atual foi calculado com uma malha de 1x1m a 4m de altura do chão. Figura 41.

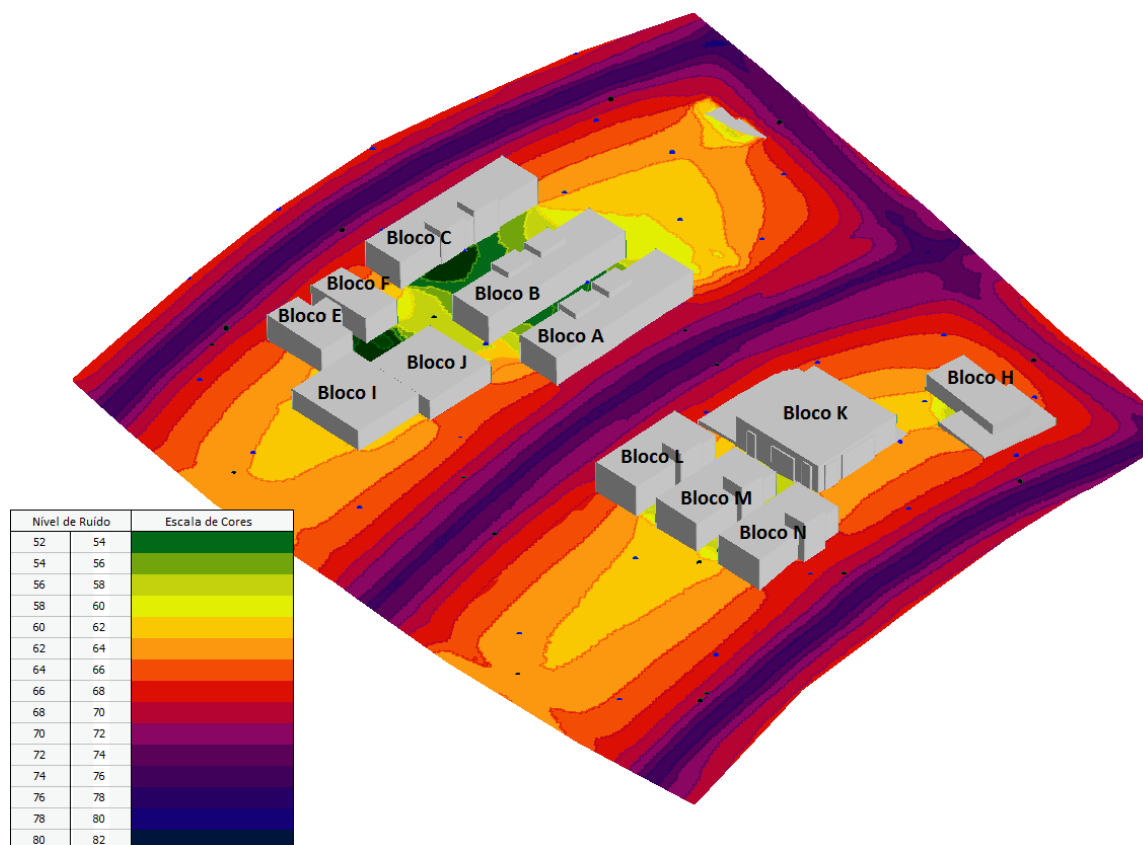


FIGURA 41 - MAPA DE RUÍDO EM 3D DO PRIMEIRO CENÁRIO, SITUAÇÃO EM QUE O CAMPUS SE ENCONTRAVA QUANDO DA REALIZAÇÃO DAS MEDIÇÕES EM 09/11/2013.

Fonte: o Autor (2013)

Uma vez que o modelo já foi validado e que este cenário reflete a situação do campus no momento da medição é possível afirmar que este mapa apresenta, quanto ao ruído ambiental, o mesmo conteúdo que as medições realizadas. Cabe agora ressaltar algumas de suas vantagens:

- a forma de apresentação visual e a distribuição gradual dos níveis de pressão sonora por todo o campus mostram com mais clareza o impacto do ruído ambiental sobre o campus e as suas edificações;
- A distribuição do ruído mostra claramente que os prédios com a fachada diretamente voltada para as vias de trânsito sofrem uma maior incidência do ruído emitido pelas vias de trânsito. Os Blocos A, N, C, D, E e F apresentam um nível de pressão sonora entre 70 a 72 dB(A);
- As adições de informações geométricas e do posicionamento das construções auxiliam na compreensão dos fenômenos que estão ocorrendo. Um exemplo disso é o efeito da localização do prédio.

O Bloco A está distante 10m da borda da via de trânsito e recebe em sua fachada um nível de pressão sonora equivalente de 72 dB(A), já o Bloco J, distante 28m da mesma via recebe em sua fachada um nível de pressão sonora equivalente de 68 dB(A), e o Bloco I, distante 34m recebe um nível de pressão sonora equivalente de 64 dB(A). Apesar dos prédios terem suas fachadas paralelas entre si e da distância aumentar em 80% do Bloco A para o Bloco J e deste bloco para o Bloco I em apenas 21%. A queda do nível de ruído entre eles é a mesma, os mesmos 4 dB(A). Esta comparação serve muito bem para mostrar o efeito da “sombra” que o Bloco J faz Sobre o Bloco I causada pelo simples desnível entre suas fachadas;

- Fácil localização das regiões mais afetadas pelo ruído e das regiões mais silenciosas. As regiões de cor verde entre os Blocos, com níveis de pressão sonora entre 52 dB(A) e 56 dB(A) seriam o local mais indicado para serem posicionados bancos ou mesas de estudo ao ar livre;
- A capacidade de prever os resultados de ações de proteção e mitigação dos efeitos do ruído com simples modificações no modelo original, gerando cenários e escolhendo as soluções baseados nas melhores relações de custo-benefício;

No tocante a avaliação do Impacto do Ruído Ambiental dentro das instalações do Campus Ecoville da UTFPR, tanto a análise do mapa de ruído quanto das medições, figura 42, chegam ao mesmo resultado: que os níveis de ruído estão bem acima dos valores máximos permitidos por lei. A Lei Municipal nº 10.625/2002, especifica para uma Escola ou Campus Universitário um limite máximo permissível de 55 dB(A) para o caso de zona de silêncio. Mesmo assim uma vantagem reside sobre a análise obtida por meio do mapa de ruído. Pela análise dos dados medidos constata-se que 100% dos lugares avaliados não são adequados e que o menor nível de ruído encontrado esta 4,0 dB(A) acima do permitido. Por meio da análise do mapa de ruído é possível encontrar a existência de regiões que atendam a esta demanda. Este fato não muda o

quadro grave que se encontra o local, mas serve para como uma guia para o melhor aproveitamento das condições das instalações.

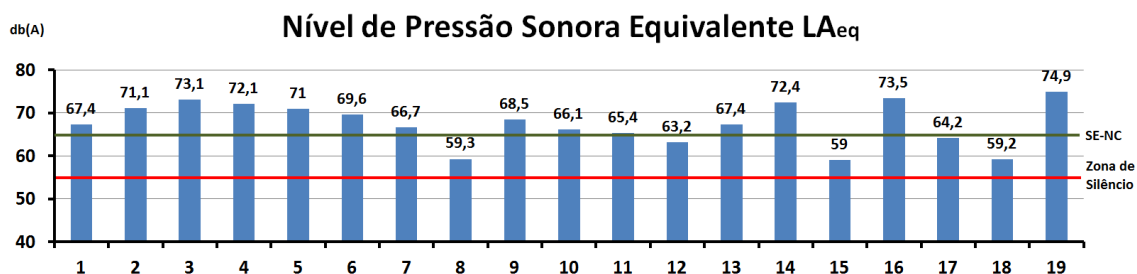


FIGURA 42 – GRÁFICO COMPARATIVO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTES OBTIDOS POR MEIO DA MEDIÇÃO COM O VALOR MÁXIMO REGULAMENTADO POR LEI, 55 dB(A) PARA ZONA DE SILÊNCIO, LINHA HORIZONTAL VERMELHA. COMO REFERÊNCIA ESTÁ APRESENTADO O NÍVEL MÁXIMO PARA A REGIÃO DE ZONEAMENTO EM QUE O CAMPUS ESTÁ LOCALIZADO, 65 DB(A) PARA REGIÃO SE-NC, LINHA HORIZONTAL VERDE.

Fonte: o Autor (2013)

6.2 PRIMEIRO CENÁRIO FUTURO - 2018.

Para uma situação futura um primeiro cenário, figura 43, foi proposto considerando as seguintes condições:

- Todas as construções previstas para o campus já foram concluídas e estão em atividade. Como o Plano Diretor já faz uso da máxima ocupação permitida para este espaço, não há previsão de mudanças nas edificações por um longo período de tempo, logo a ocupação do espaço físico já está completamente definida.
- Neste período de tempo a região no entorno do campus não sofrerá mudanças com o acréscimo de novos edifícios nos espaços livres nas quadras ao redor do campus.
- Haverá um aumento do fluxo de veículos pelas vias de tráfego, em parte causada pela demanda natural da expansão que a região tem sofrido nos últimos anos, e em outra parte causada pela própria consequência da instalação do Campus Universitário na região.

- Como uma medida mitigadora do aumento de veículos na região foi considerada uma redução da velocidade máxima permitida nas vias do entorno do campus em 50%, para uma expectativa de redução em 6dB(A) no nível de ruído (HOBAN; TSUNOKAWA, 1997);

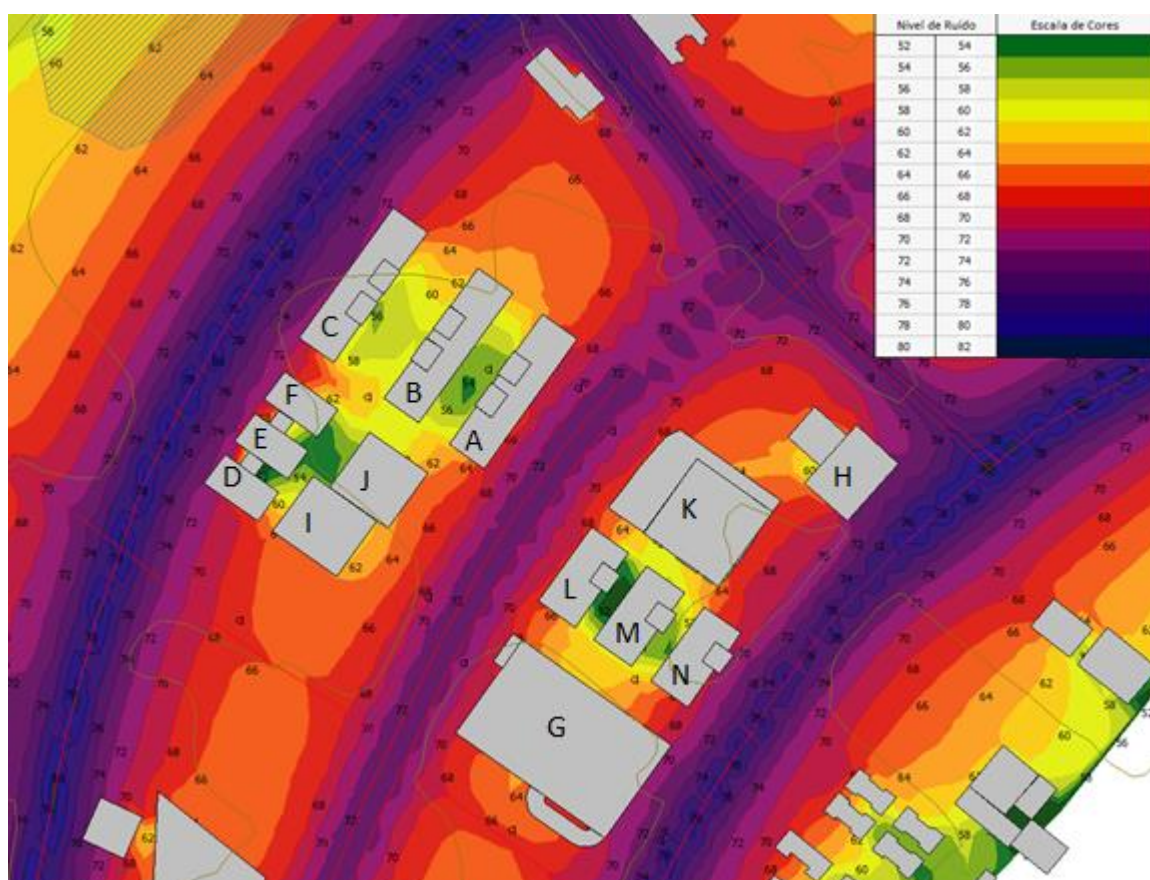


FIGURA 43 MAPA DE RÚIDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO DIRETOR, SEM MODIFICAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES DO ENTORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NO LIMITE DE VELOCIDADE DAS VIAS DO ENTORNO DO CAMPUS.

Fonte: o Autor (2013)

Comparando o mapa deste segundo cenário com o primeiro cenário foi constatada algumas mudanças sensíveis.

A redução em 6dB(A) no nível de ruído emitido pela via de trânsito inicialmente esperada (HOBAN; TSUNOKAWA, 1997) não foi verificada porque

houve uma combinação do aumento do fluxo de veículos com a redução da velocidade em 50%. Entretanto, foi obtida uma redução em 4 dB(A) do nível de ruído, suficiente para mitigar o efeito do aumento do fluxo de veículos na via de trânsito.

Nos pontos sob ação direta do ruído das vias de trânsito foram verificadas reduções na ordem de 4dB(A). O Bloco IJ recebia um nível de ruído de 64 dB(A) na fachada do Bloco I e de 68 dB(A) na fachada do Bloco J, para o cenário futuro estes valores caíram respectivamente para 62dB(A) e 64 dB(A), figuras 44. O mesmo ocorreu com o Bloco A que, no primeiro cenário estava com um nível de ruído na fachada de 72 dB(A) e caiu para 68 dB(A), figura 45.

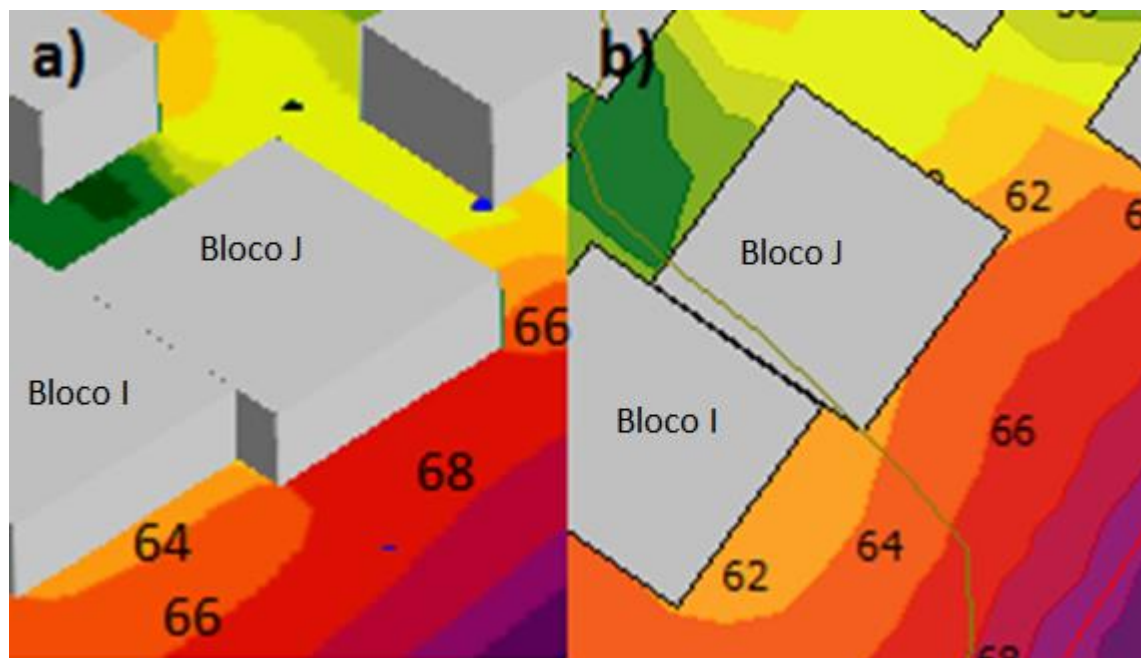


FIGURA 44 - COMPARATIVO ENTRE MUDANÇAS OCORRIDAS CO CENÁRIO 1, TEMPO PRESENTE PAR O CENÁRIO 2 FUTURO PRÓXIMO.

A) NO CENÁRIO ATUAL O NÍVEL DE RUÍDO NAS FACHADAS DO BLOCO I É DE 64 DB(A) E DO BLOCO J É DE 68 DB(A);

B) NO CENÁRIO FUTURO PRÓXIMO HOUE UMA REDUÇÃO DE PARA 60 DB(A) NO BLOCO I E 64 DB(A) NO BLOCO J;

Fonte: o Autor (2013)

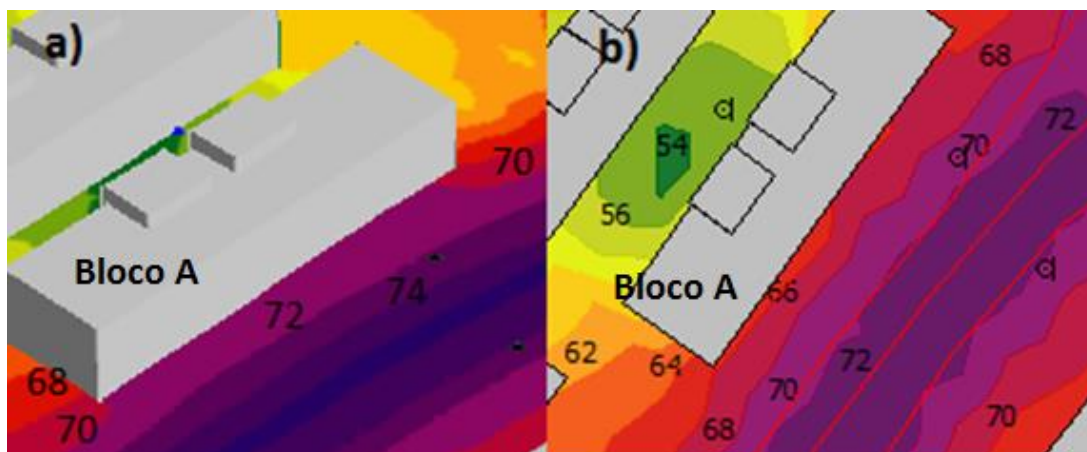


FIGURA 45 - COMPARATIVO ENTRE MUDANÇAS OCORRIDAS NO CENÁRIO 1, TEMPO PRESENTE PARA O CENÁRIO 2 FUTURO PRÓXIMO.
A) NO CENÁRIO ATUAL O NÍVEL DE RUÍDO NAS FACHADAS DO BLOCO A É DE 72 DB(A);
B) NO CENÁRIO FUTURO PRÓXIMO HOUE UMA REDUÇÃO DE PARA 68 DB(A);
 Fonte: o Autor (2013)

Nas regiões sob maior influência do ruído indireto, fruto das reflexões produzidas pelas construções e pelo solo, observamos que houve um aumento nos níveis de ruído em 2 dB(A) entre os dois cenários. Os níveis de ruído entre os Blocos C e B, que estavam entre 42 dB(A) a 60dB(A) tiveram um aumento situando-se entre 44 dB(A) a 62dB(A), figura 46.

Já as regiões sob efeito combinado dos ruídos diretos e indiretos não sofreram mudanças nos níveis de ruído entre os dois cenários. Na mesma figura 46, ao lado do Bloco B os níveis de ruído para ambos os cenários são os mesmos, 60 dB(A).

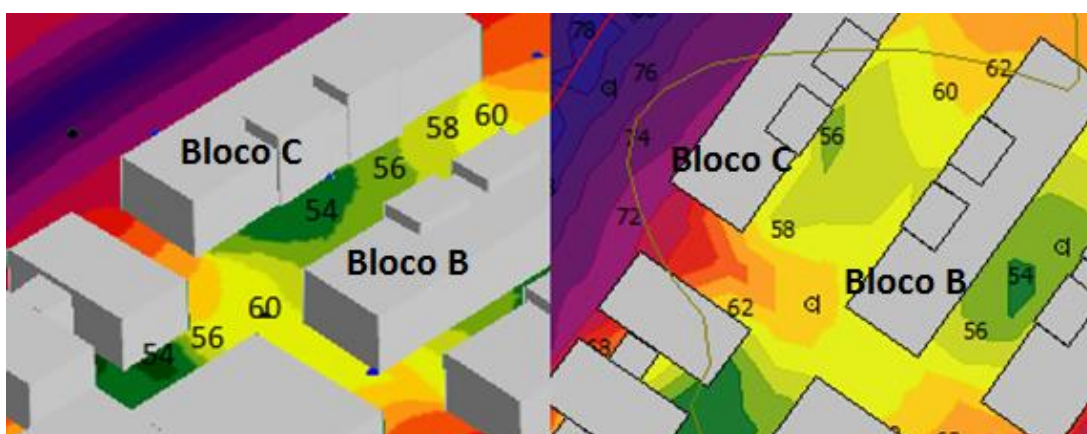


FIGURA 46 - COMPARATIVO ENTRE MUDANÇAS OCORRIDAS NO CENÁRIO 1, TEMPO PRESENTE PARA O CENÁRIO 2 FUTURO PRÓXIMO.
A) NO CENÁRIO ATUAL O NÍVEL DE RUÍDO ENTRE OS BLOCOS C E B É DE 54DB(A) A 60 DB(A);
B) NO CENÁRIO FUTURO PRÓXIMO HOUE UM AUMENTO PARA 56DB(A) A 62 DB(A);
 Fonte: o Autor (2013)

6.3 SEGUNDO CENÁRIO FUTURO - 2018.

Para uma situação futura um primeiro cenário, figura 47, foi proposto considerando as seguintes condições:

- Todas as construções previstas para o campus já foram concluídas e estão em atividade. Como o Plano Diretor já faz uso da máxima ocupação permitida para este espaço, não há previsão de mudanças nas edificações por um longo período de tempo, logo a ocupação do espaço físico já está completamente definida.
- Neste período de tempo a região no entorno do campus sofreu modificações com o surgimento de diversos edifícios nos espaços que antes estavam livres.
- Haverá um aumento do fluxo de veículos pelas vias de tráfego, em parte causada pela demanda natural da expansão que a região tem sofrido nos últimos anos, e em outra parte causada pela própria consequência da instalação do Campus Universitário na região. Este aumento será de 31% em cinco anos, considerando uma taxa anual de 5,6% (DETRAN-PR, 2013);
- Como uma medida mitigadora do aumento de veículos na região foi considerada uma redução da velocidade máxima permitida nas vias do entorno do campus em 50%;

Apesar do acréscimo de construções nas quadras ao redor do campus não houveram grandes mudanças na distribuição do ruído. Esta constatação pode ser creditada ao recuo de 10m da via de trânsito que a lei de zoneamento impõe as novas construções.

As maiores diferenças são evidenciadas apenas nas regiões onde antes não haviam construções. Do lado da quadra do campus, não se observa mudanças, mas do outro lado da rua, existe uma grande alteração na distribuição do ruído figura 48.

Desta forma conclui-se que a existência ou não de edifícios nas demais quadras não afeta a distribuição do ruído dentro do campus.

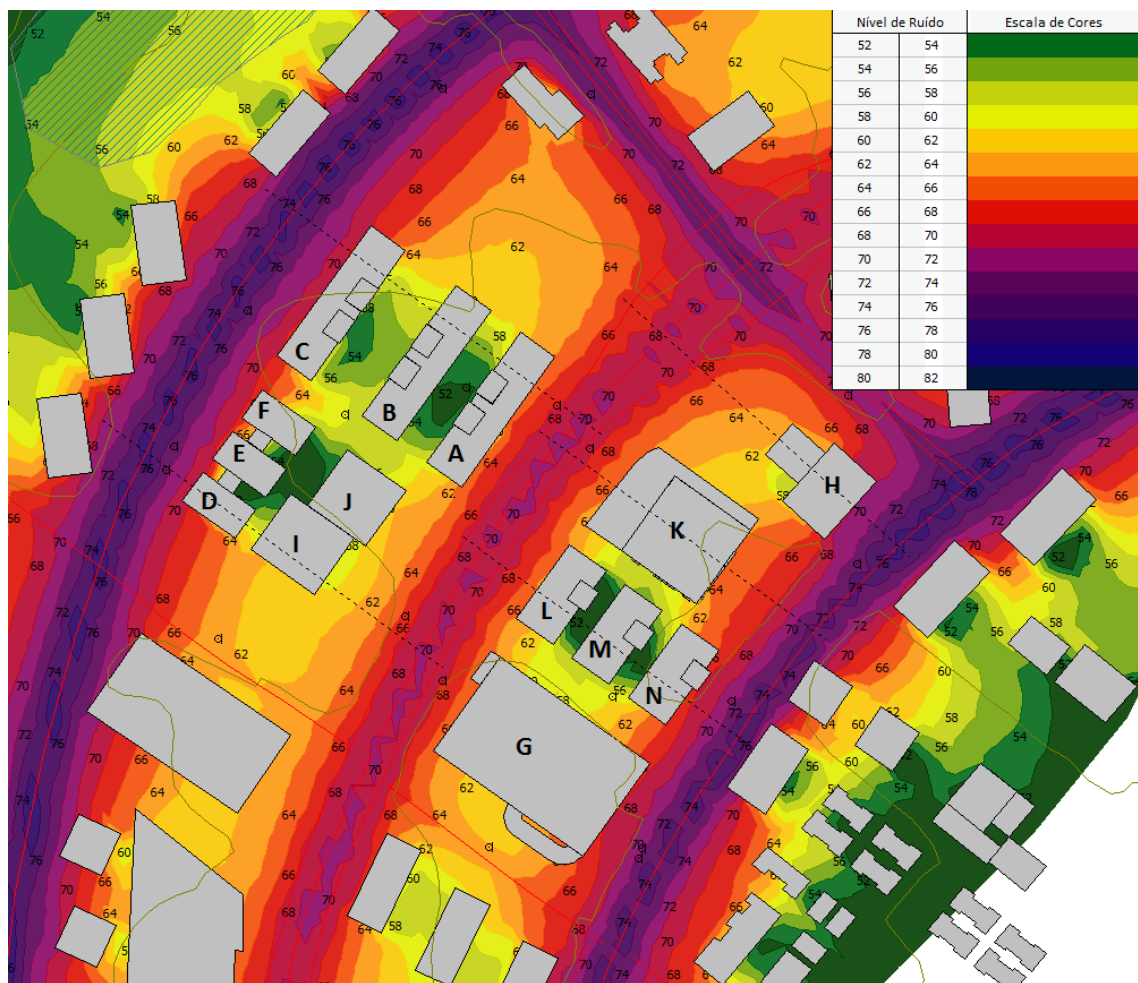


FIGURA 47 - MAPA DE RUÍDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO DIRETOR, COM ACRÉSCIMO DE EDIFICAÇÕES NAS QUADRAS DO ENTORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NA VELOCIDADE MÁXIMA PERMITIDA.

Fonte: o Autor (2013)

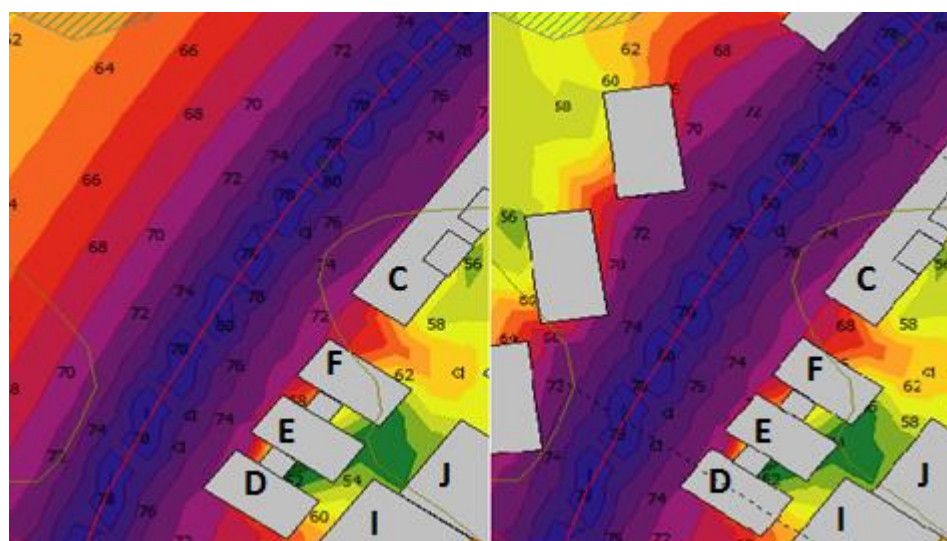


FIGURA 48 - COMPARATIVO DE UMA MESMA REGIÃO DE ACORDO COM AS DUAS OPÇÕES PARA O CENÁRIO FUTURO.

Fonte: o Autor (2013)

6.4 DISTRIBUIÇÃO HORIZONTAL DO RÚIDO NO CAMPUS ECOVILLE

Todas as demais análises serão feitas apenas no segundo cenário futuro por ser considerada a que apresenta a maior diversidade de condições e que representa melhor a condição da distribuição do ruído dentro do Campus Ecoville para uma condição futura.

O mapa de ruído da figura 47 é apresentado em 3D, com vista pelo lado nordeste, figura 49, e pelo lado sul, figura 50.

Todos os comentários específicos à distribuição do ruído foram feitos quando da análise individual dos edifícios.

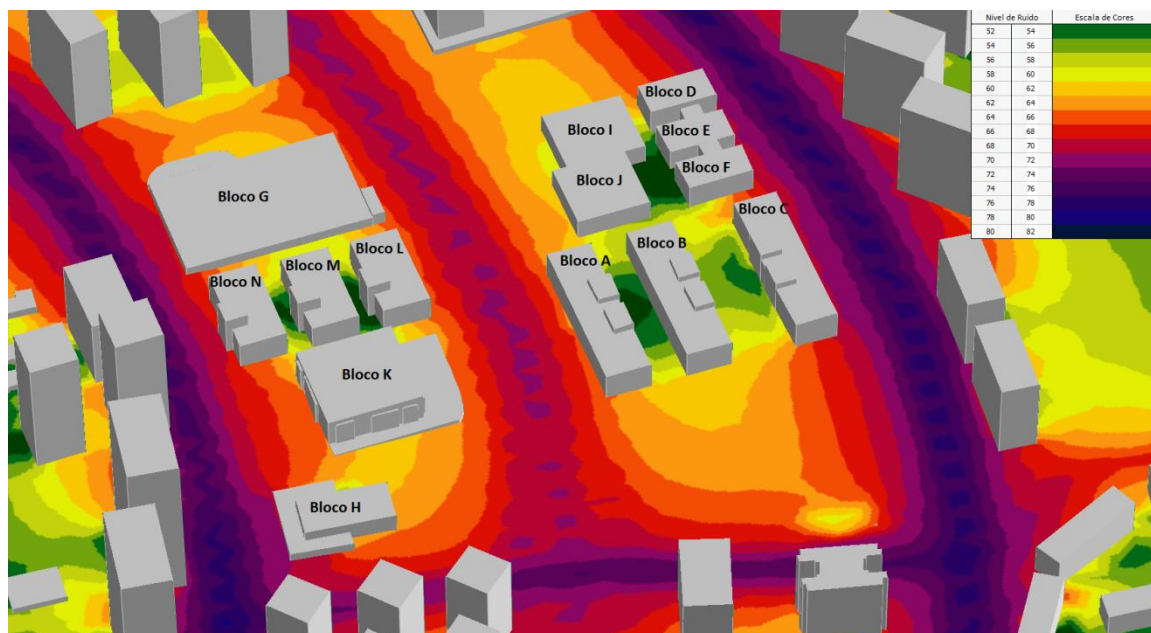


FIGURA 49 - MAPA DE RÚIDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO DIRETOR, COM ACRÉSCIMO DE EDIFICAÇÕES NAS QUADRAS DO ENTORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NO LIMITE DE VELOCIDADE. VISTO PELA DIREÇÃO NORDESTE.

Fonte: o Autor (2013)

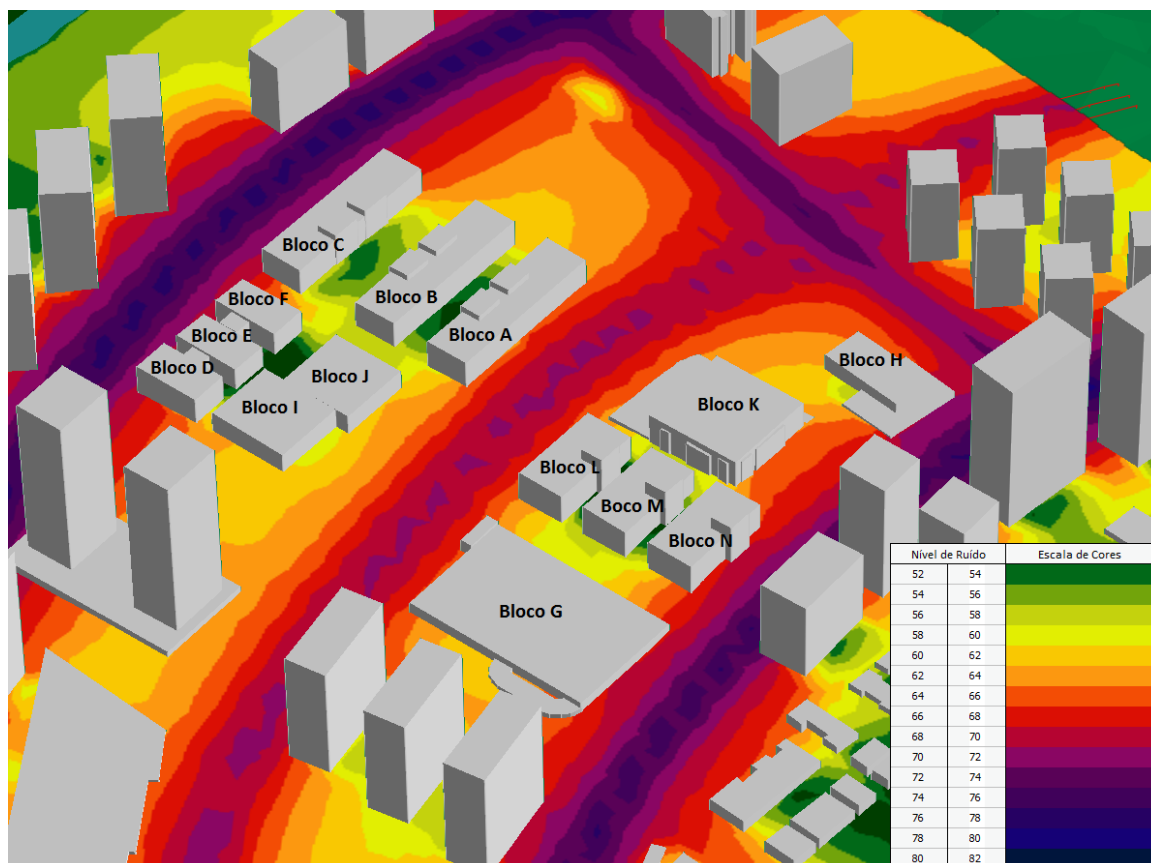


FIGURA 50 MAPA DE RUÍDO COM MALHA 5X5M A 4M DE ALTURA CONSIDERANDO O CAMPUS DE ACORDO COMO O PROPOSTO NO PLANO DIRETOR, SEM MODIFICAÇÕES NAS CONSTRUÇÕES DO ENTORNO DO CAMPUS, UM CRESCIMENTO NO FLUXO DE VEÍCULOS PELAS VIAS DA REGIÃO COM A REDUÇÃO EM 50% NO LIMITE DE VELOCIDADE DAS VIAS DO ENTORNO DO CAMPUS. VISTO PELA DIREÇÃO SUL.

Fonte: o Autor (2013)

6.5 DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO RUÍDO NO CAMPUS ECOVILLE

A distribuição vertical do ruído para a quadra entre a Rua Deputado Heitor Alencar Furtado e a Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza é apresentada na figura 51 e a distribuição vertical do ruído para a quadra entre a Rua Deputado Heitor Alencar Furtado e a Rua Monsenhor Ivo Zanlorenzi é apresentada na figura 52.

Nesta figura podemos observar o perfil vertical de emissão de ruído da via de trânsito e o efeito de “sombra” que as edificações causam. Os Blocos A, B e C estão em primeiro plano nesta figura contando da esquerda para a direita, como os Blocos A e B estão mais próximos do que os Blocos B e C a região de sombra é maior entre estes blocos. Entre os Blocos D-E-F e os Blocos I-J existe

uma outra região de sombra com maiores índices de redução de ruído causada pela maior proximidade entre este conjunto de blocos. Na figura 53 é mostrado o detalhe desta região com os valores das curvas de ruído, justificando a diferença entre as regiões verdes entre os blocos.

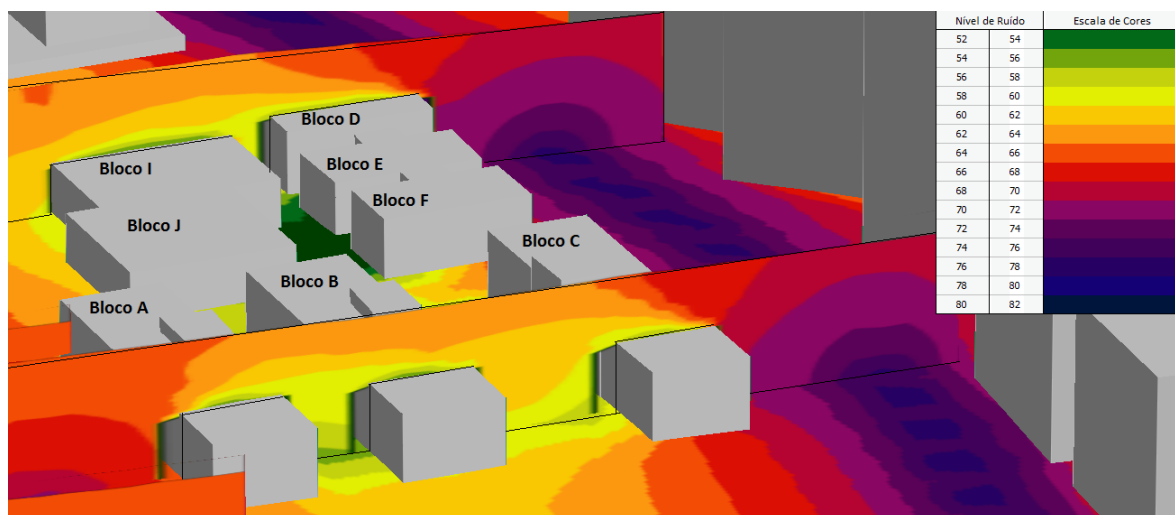


FIGURA 51 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO RUÍDO PARA A QUADRA ENTRE AS RUAS RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA

Fonte: o Autor (2013)

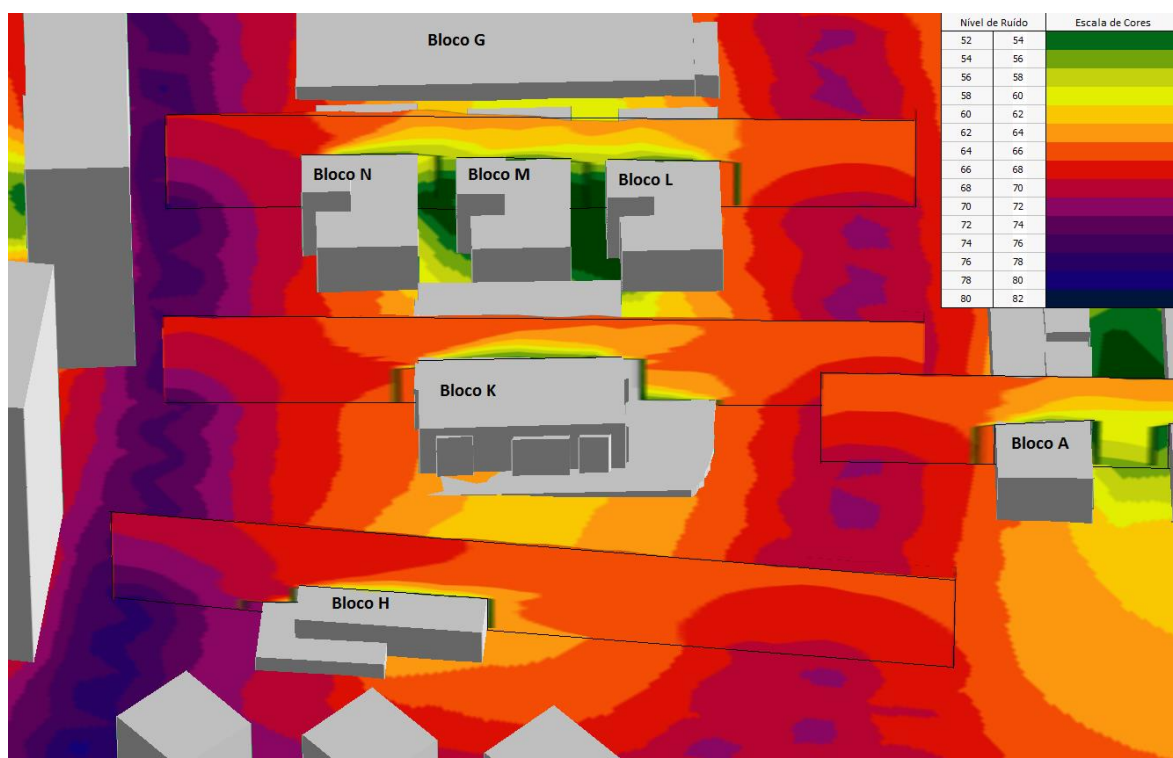


FIGURA 52 - DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO RUÍDO PARA A QUADRA ENTRE A RUA DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO E A RUA MONSENHOR IVO ZANLORENZI
Fonte: o Autor (2013)

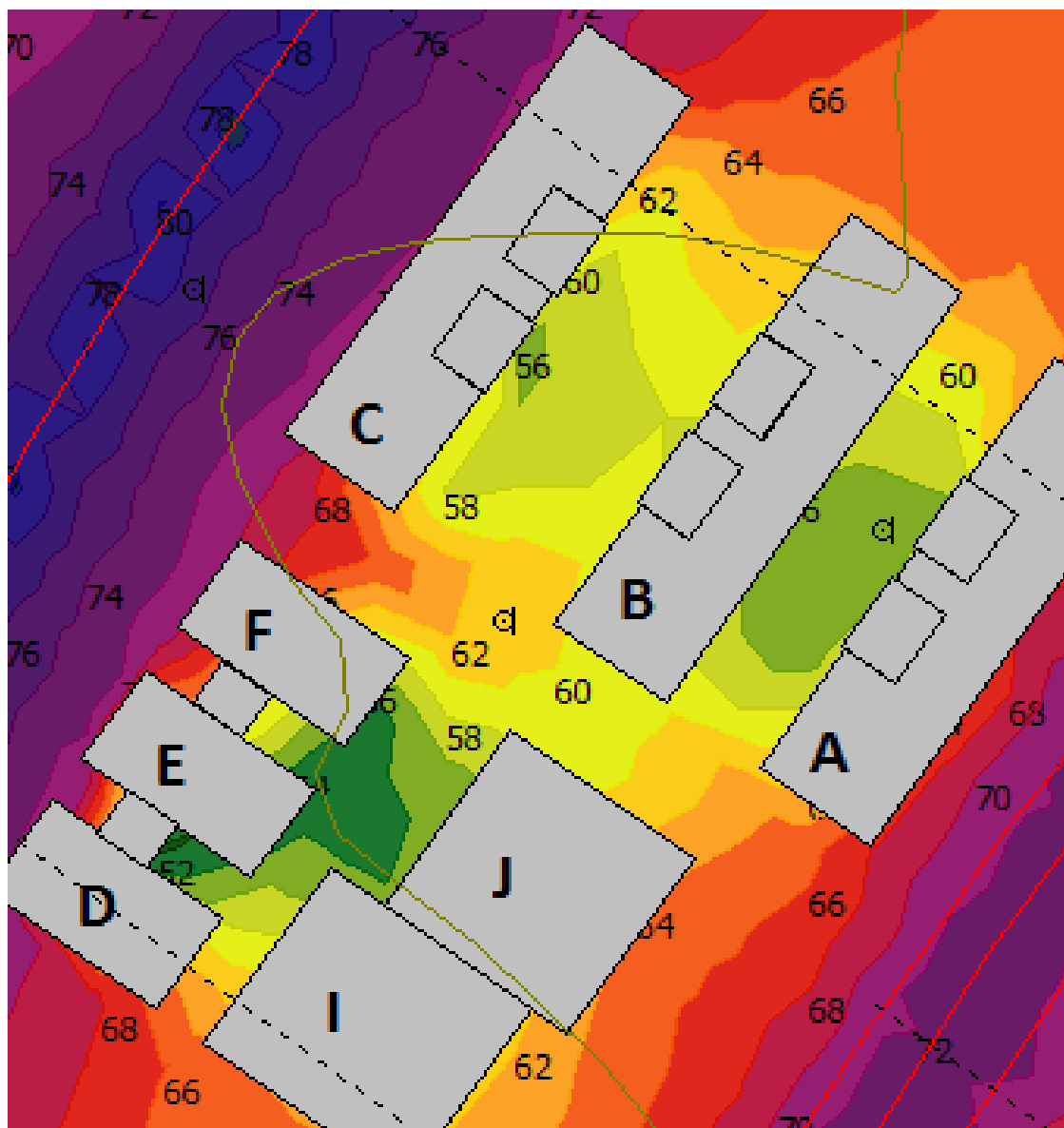


FIGURA 53 - DETALHE DAS REGIÕES DE SOMBRA, DE COR VERDE, ENTRE OS BLOCOS
 Fonte: o Autor (2013)

6.6 ANÁLISE DO RUÍDO DE FACHADA NOS EDIFÍCIOS

O ruído na fachada dos Blocos A, B e C é visto na figura 54. O Bloco A, de frente para a Rua Deputado Heitor Alencar Furtado recebe um nível de ruído de 70 dB(A) em toda a sua fachada frontal. Já o Bloco B, recebe nesta mesma fachada um nível de ruído entre 58 dB(A) e 64 dB(A), fruto da sombra acústica que o Bloco A projeta sobre o Bloco B. O bloco C recebe os mesmos níveis nesta fachada, compensado pela maior distância da rua apesar da sombra do Bloco B sobre o Bloco C ser menos do que a do bloco A.

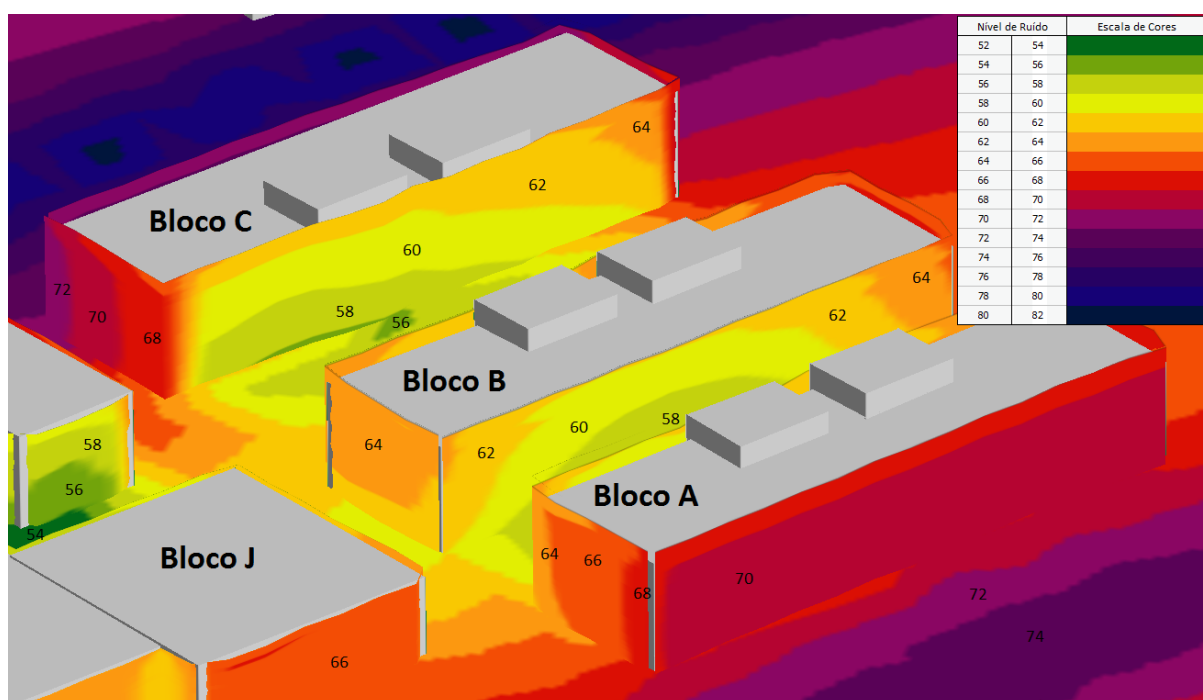


FIGURA 54 BLOCOS A, B E C VISTOS DA RUA DEPUTADO DEPUTADO HEITOR ALENCAR FURTADO

Fonte: o Autor (2013)

O ruído na fachada dos Blocos C, D, E e F é visto na figura 55 de frente para a Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza. Todos os Blocos recebem um nível de ruído de 74 dB(A) nas suas fachadas frontais.

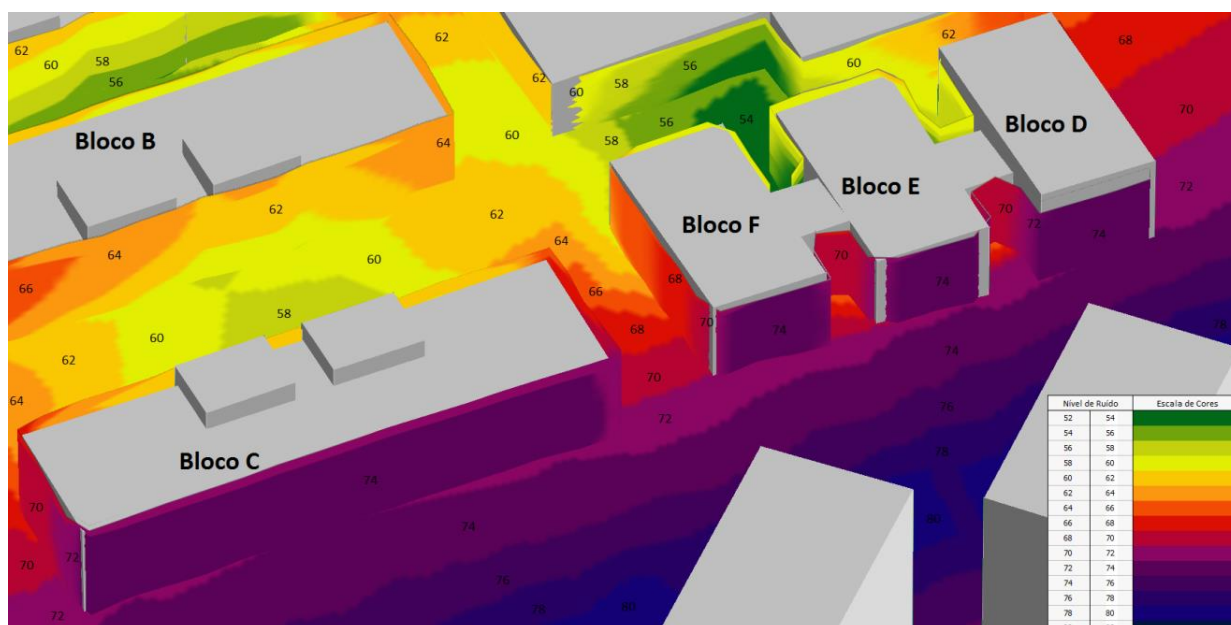


FIGURA 55 BLOCOS C, F, E E D VISTOS DA RUA PROF. PEDRO VIRIATO PARIGOT DE SOUZA

Fonte: o Autor (2013)

Os Blocos I e J, vistos na figura são vistos na figura 56. O bloco J recebe um nível de ruído de 66 dB(A) em sua face voltada para a Rua Deputado Heitor Alencar Furtado enquanto o Bloco I recebe um nível de ruído de 64 dB(A), essa diferença de 2 dB(A) é justificada pela maior distância do Bloco I da rua, 6 m a mais que o Bloco J, e pela sombra que o Bloco J causa no Bloco I. Já a face lateral do Bloco I recebe um nível de ruído entre 66dB(A) e 68 dB(A) por estar exposta ao ruído das duas ruas.

Nesta figura é possível observar que as faces internas dos Blocos D-E-F estão recebendo um nível de ruído de 20dB(A) a 14 dB(A) a menos que a outra face voltada para a rua, uma diferença muito grande.

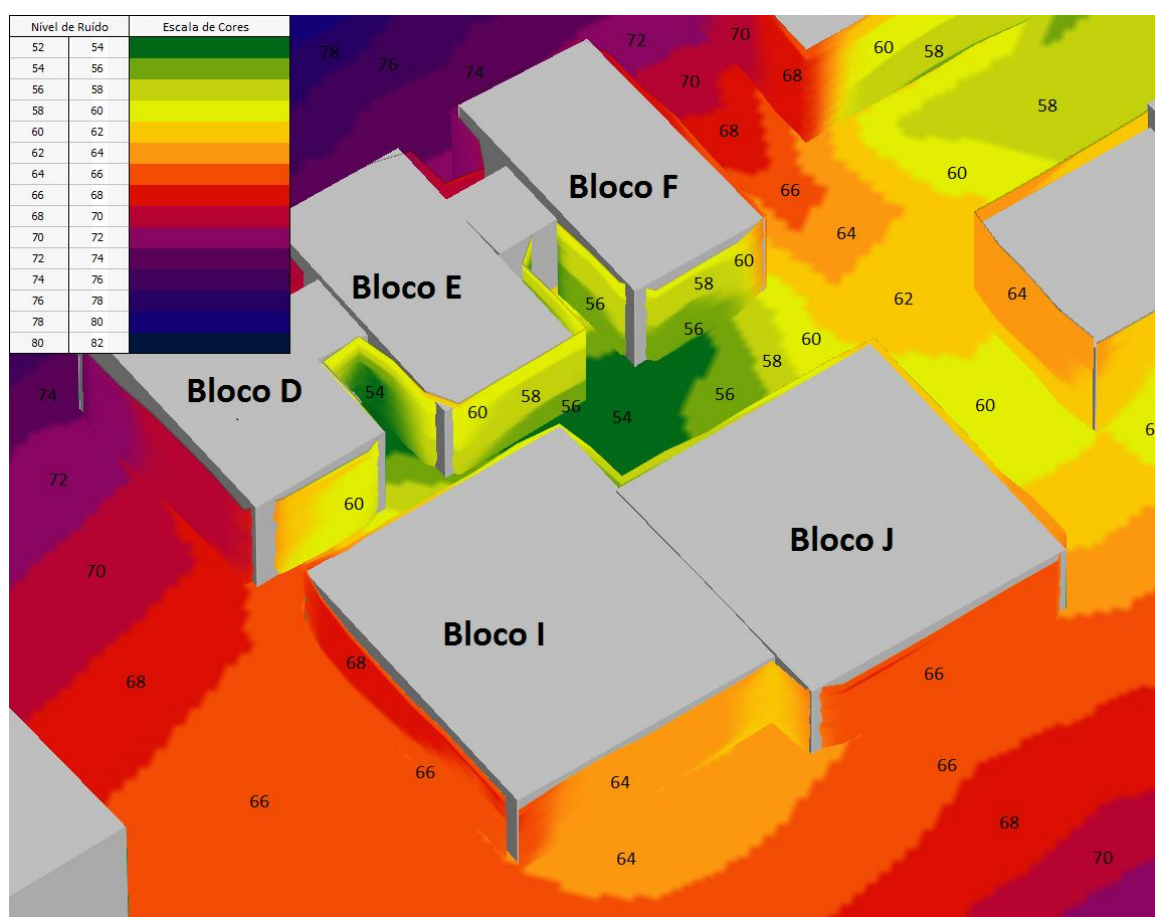


FIGURA 56 - BLOCOS I-J
Fonte: o Autor (2013)

O Bloco K é mostrado em detalhe na figura 57, onde é possível verificar que a face de frente para a Rua Deputado Heitor Alencar Furtado recebe no primeiro andar um nível de ruído de 70 dB(A) e nos demais andares um nível de 68 dB(A). O Bloco L também recebe um nível de ruído de 70 dB(A) na sua fachada de frente para a mesma rua.

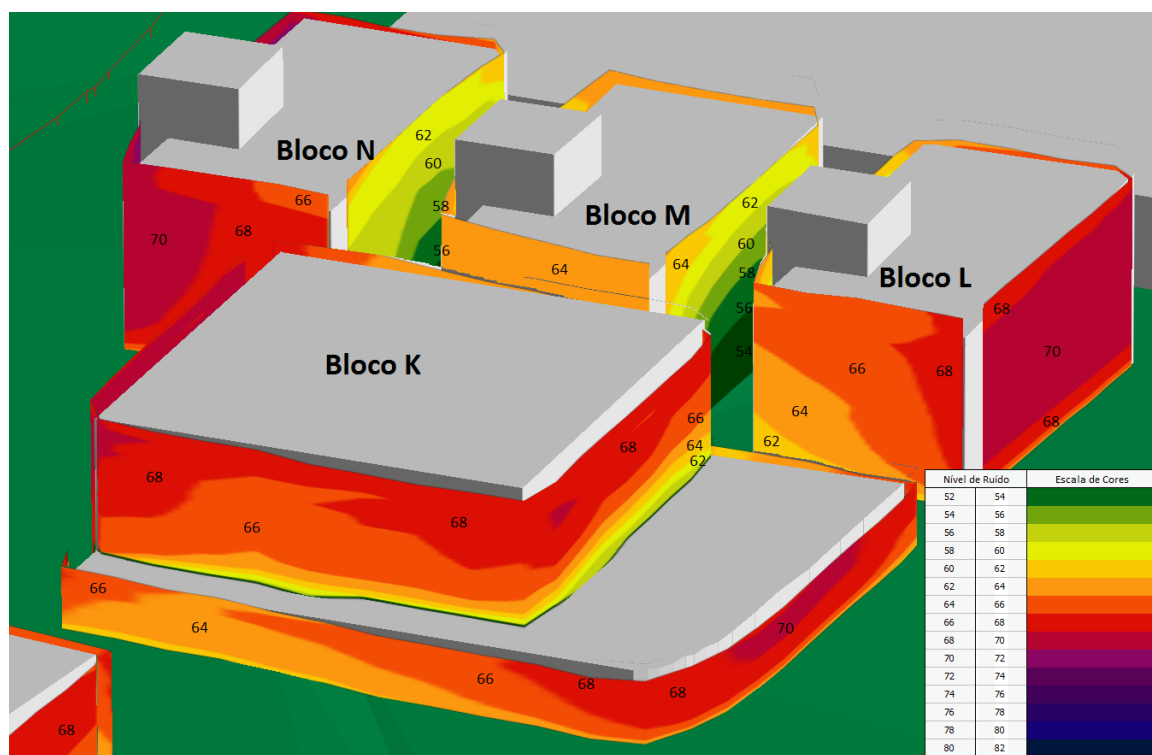


FIGURA 57 BLOCO K EM PRIMEIRO PLANO COM OS BLOCOS L, M e N ao FUNDO.

Fonte: o Autor (2013)

O Bloco N, de frente para a Rua Monsenhor Ivo Zanlorenzi recebe um nível de ruído de 72 dB(A) a 74 dB(A) na sua fachada de frontal e na fachada posterior, figura 57, um nível de ruído de 65 dB(A) a 62 dB(A), uma diferença de 10 dB(A) a 7 dB(A), o mesmo acontecendo com o Bloco L, Figuras 57 e 58.

O Bloco M, devido as sua posição entre os Blocos L e N, recebe os mesmos valores nas faces frontal e posterior, indo de 54 dB(A) a 62 dB(A) do primeiro para o quarto andar, aumentando cerca de 2 dB(A) a cada andar mais elevado. Este efeito ocorre devido estas faces do bloco estarem sujeitas a uma maior influencia do ruído refletido das vias de trânsito, o qual é maior perto das extremidades do bloco e menor junto ao solo.

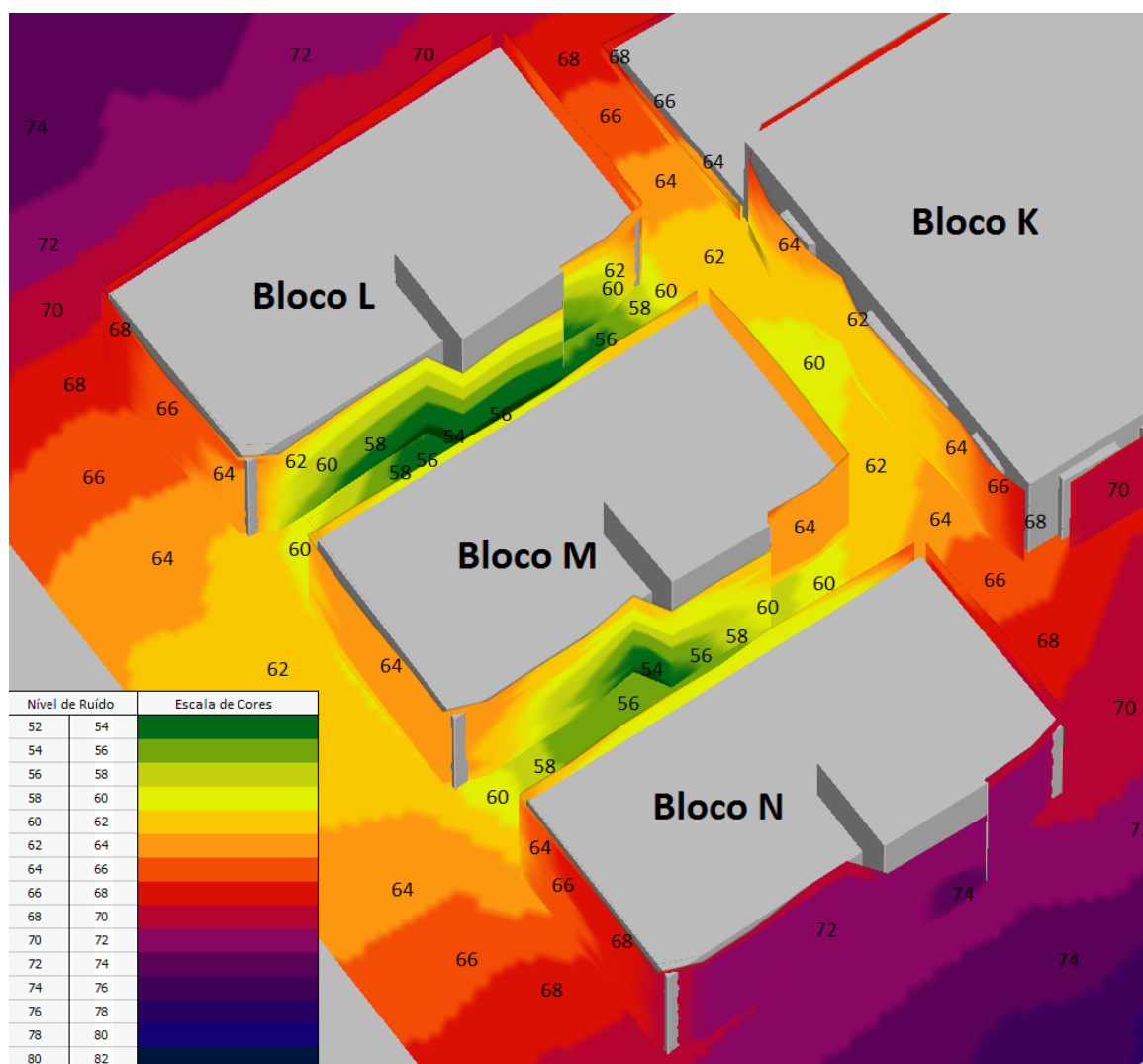


FIGURA 58 BLOCOS L, M e N, VISTA DE FRENTE PARA A RUA MONSENHOR IVO ZANLONRENZI.

Fonte: o Autor (2013)

O Bloco H, com a Biblioteca e o Teatro, está localizado em uma das esquinas do campus, em um dos pontos de maior ruído de todo o Campus, figura 59. Recebendo 74 dB(A) em sua face frontal, figura 60, e 66 dB(A) a 72dB(A), nas demais faces. O teatro e a biblioteca estão entre os edifícios mais silenciosos de uma universidade e, para que isto ocorra, deverão receber um investimento adicional no isolamento acústico, sob pena de prejudicar as atividades neles desenvolvida.

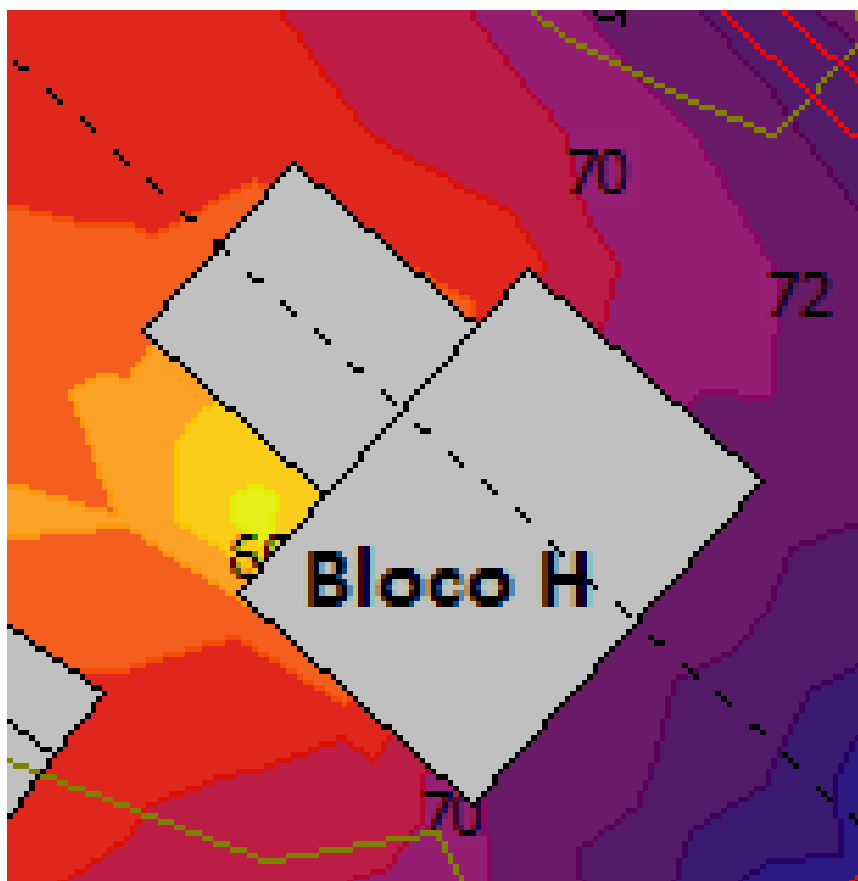


FIGURA 59 – BLOCO H, BIBLIOTECA E TEATRO.

Fonte: o Autor (2013)

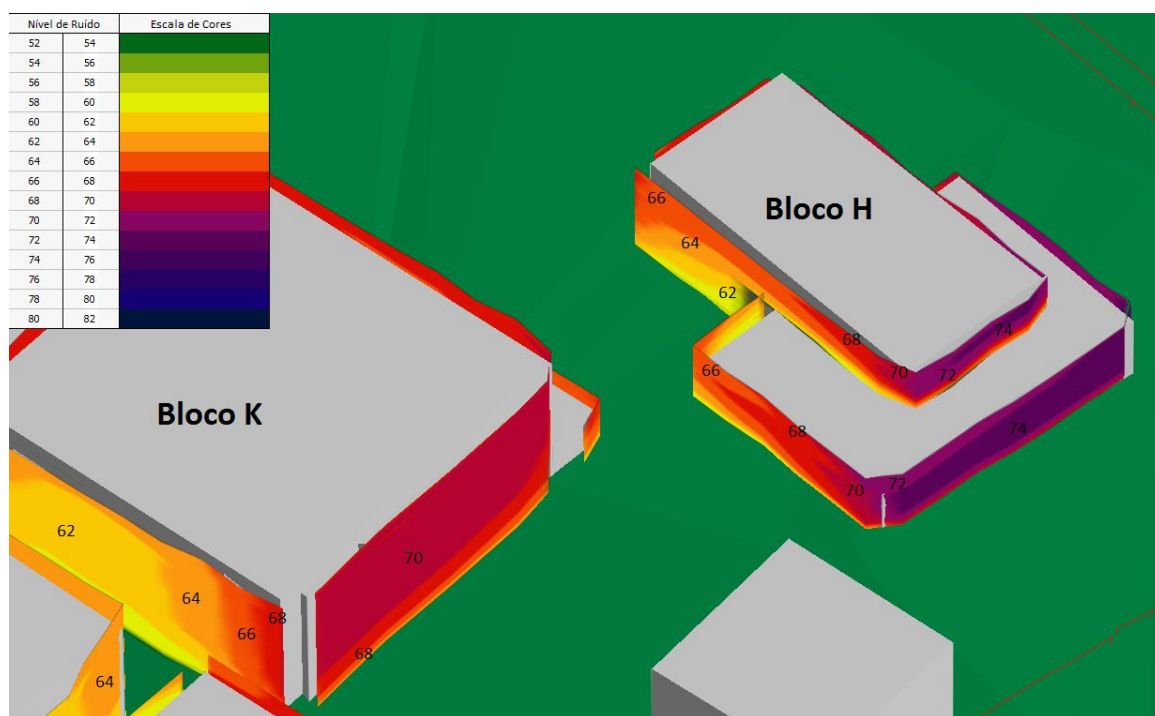


FIGURA 60, VISTA FRONTAL DO BLOCO H, DE FRENTE PARA A RUA MONSENHOR IVO ZANLORENZI.

Fonte: o Autor (2013)

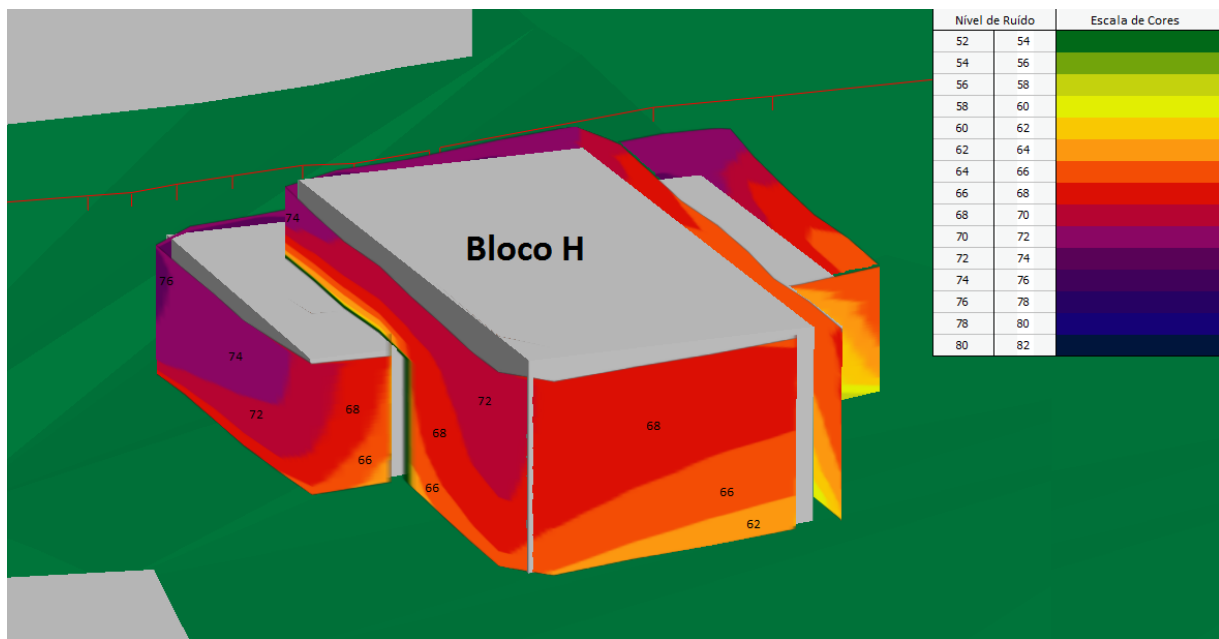


FIGURA 61 – BLOCO H, VISTA POSTERIOR.
Fonte: o Autor (2013)

7 CONCLUSÕES

Este estudo mostrou que apesar de ser garantido por lei o direito a uma zona de silêncio de 200m no entorno do campus universitário, com um nível máximo de ruído de 55 dB(A) (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2002), vemos que esse patamar de qualidade acústica está muito longe de ser obtido. Foi constatado por meio de medição um nível de pressão sonora entre 59,0 dB(A) e 74,5 dB(A) e pelas simulações um nível de ruído nas fachadas dos edifícios entre 70 dB(A) e 74 db(A).

Foi possível constatar que a redução da velocidade do trânsito pode ajudar na redução dos níveis de ruído contribuindo com até 4 dB(A), por meio de uma redução de 50% na velocidade do trânsito mesmo com um aumento de 31% no fluxo de veículos.

Foi possível constatar também que a existência ou não de prédios do outro lado da rua pouco influencia nos níveis de ruído recebido dentro do campus, em parte por se situar do outro lado da fonte geradora de ruído, em parte por estar a uma distância longe o suficiente para que possa ter alguma influência.

Uma importante constatação observada por meio do mapa de ruído foi o surgimento de regiões com baixo nível de ruído dentro do campus, com níveis de ruído inferiores a 55 dB(A), causados pela interação dos edifícios gerando pequenas zonas de silêncio dentro do campus. Como estas regiões de baixo nível de ruído foram mapeadas dentro do campus universitário, este trabalho deixa uma sugestão à administração do campus para aproveitar estas regiões da melhor forma possível localizando nestes lugares pontos de estudo ao ar livre.

Este trabalho também trouxe uma análise sobre os mapas de ruído, suas aplicações e vantagens indicando como uma ferramenta eficaz de análise e predição de ruído.

Dentre todos os edifícios analisados o que mais chama atenção é o Bloco H, ainda em fase de projeto e que futuramente vai abrigar o Teatro e a Biblioteca do campus. A localização deste edifício, o mais sensível ao ruído dentre toda universidade, está prevista justamente para uma das regiões com maior nível de

ruído em todo o campus. Fica um alerta sobre esta situação, com uma sugestão de mudar a localização do Bloco H para uma região mais silenciosa ainda disponível, no atual estágio de implantação, dentro do campus, sob pena de aumentar os custos de construção, pela necessidade de se prover um maior isolamento acústico, ou de se gerar um incômodo nos usuários destes ambientes, por prejudicar as atividades desenvolvidas.

A metodologia utilizada neste trabalho, medição *in situ* dos níveis de pressão sonora e simulação computacional, mostrou se de grande utilidade na avaliação da qualidade acústica e na previsão de resultados futuros, fornecendo informações para a correta tomada de decisões visando economia de recursos e garantia da satisfação e da qualidade de vida da população dentro do Campus Ecoville da Universidade Tecnológica federal do Paraná.

7.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros são apresentadas as seguintes sugestões:

Realizar trabalhos semelhantes em mais campus universitários gerando um material para comparação e referência, inclusive com a possibilidade de se produzir recomendações para instalação de futuros campus ou centros universitários.

Fazer uma avaliação das condições de ruído e qualidade acústica do Campus Ecoville para o horário noturno, já que a universidade atua em todos os turnos.

Refazer estes estudos com simulações utilizando outros modelos de predição de ruído rodoviário.

Estudar os ganhos possíveis na redução de ruído com a troca da pavimentação das vias no entorno do campus.

Conduzir estudos qualitativos com entrevista dos usuários do campus avaliando o impacto do ruído urbano nas atividades de ensino, estudo e pesquisa, bem como seu reflexo na saúde e qualidade de vida da população do campus.

REFERÊNCIAS

AHRLIN, U., ÖHRSTRÖM, **Medical effects of environmental noise on humans** Journal of Sound and Vibration, 59.1, pg 78-87, 1978.

ALIMOHAMMADI, I., SOLTANI, R., SANDROCK, S., AZKHOSH, M. GOHARI, M. R. **The effects of road traffic noise on mental performance.** Iranian Journal of Environmental Healty Science & Engineering, 10:18, 2013.

ALVES, L. A. , M. L. C. C., MARZIALE, M. H. P., FELIPPE, A. C. N., ROMANO, C. C., **Health disorders and teachers' voices: a workers' health issue**, Rev. Latino-Am. Enfermagem vol.17 no.4 Ribeirão Preto July/Aug. 2009

AMUNDEN, A. H., KLAEBOE, R. **A Nordic perspective on noise reduction source.** TOI report 866, 2005.

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

ANTONELLI, D. **Em um ano, PR ganha 400 mil veículos** - VIDA E CIDADANIA – GAZETA DO POVO, CURITIBA, 02 de fevereiro de 2013. Disponível em: <http://www.gazetadopovo.com.br/vidaecidadania/conteudo.phtml?id=1341435&tit=Em-um-ano-PR-ganha-400-mil-veiculos> . Acesso em 25/09/2013.

AUGUSTYNSKA, D., KACZMARSKA, A., MIKULSKI, W., RADOSZ, J., **Assessment of teachers' Exposure to Noise in Selected Primary Schools**, Archives of Acoustics, Vol. 35, nº 4, pp 521-542, 2010.

BEDOYA, J., **Estudio de los niveles de ruido em las aulas de classe-resumen de datos de prácticas de estudiantes**, Medellín, dezembro de 2007

BEMPARANA, **UTFPR inaugura sede Ecoville**, bemparana.com.br 2011 Disponível em: <http://www.bemparana.com.br/noticia/173203/utfpr-inaugura-sede-ecoville#.UpMIV_mkovw> Acesso em 25/09/2013

BERGLUND, B., LINDVALL, T., **Community Noise.** Archives of the Center for Sensory Research, Printed by Jannes Snabbtryck, Stockholm, Sweden, 1995.

BIES, D. A., HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice.** 4 th Ed. Spon Press/Taylor & Francis New York 2009.

Bluhm, G., Nordling, E., Berglind, N., **Road traffic noise and annoyance-an increasing environmental health problem**, Noise and Health, pp 43-49, Vol 6, iss 24, 2004.

BOTTELDOOREN, D., KAMMERINGER, E., LERCHER, P., UHRNER, U., WIDMANN, U. **Cardiovascular effects of environmental noise - research in Austria.** Noise and Health, 13.25, pg 234, may-june 2011

BRUER & KJAER, **Environmental Noise booklet**, Disponível em <http://www.nonoise.org/library/envnoise/index.htm>. Acesso em 25/09/2013

BRUEL & KJAER. **Predictor –Lima v.8.1 user guide.** Bruel & Kjaer Sound and Vibration A/S, 2010.

CALIXTO, A., DINIZ, F.B., ZANNIN, P. H. T. **The statistical modeling of road traffic in an urban setting.** Cities, vol 20. N1, p23-29. 2003.

CAVANAUGH, W., TOCCI, G. **Environmental Noise: The Invisible Pollutant**, Disponível em <<http://www.nonoise.org/library/envarticle/index.htm>.> Acesso em 25/09/2013.

DETRAN-PR, **Estatísticas de Trânsito** em <<http://www.detran.pr.gov.br/modules/catasg/servicos-detalhes.php?tema=transitoseguro&id=131>> Acesso em 25/09/2013 .

DFT- DEPARTMENT FOR TRANSPORT TRAFFIC - **MANAGEMENT DIVISION Traffic Advisory Leaflet**, TAL 6/96 - Traffic Calming: traffic and vehicle noise. London JUNHO 1996.

DINIZ, F.B. **Impacto ambiental das emissões sonoras de subestações de energia elétrica na cidade de Curitiba.** Dissertação de mestrado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2003.

DONATO, S.R, MORRI, B. **A statistical model for predicting road traffic noise based on Poisson type traffic flow.** Noise Control Engineering Journal [Noise Control Eng. J.]. Vol. 49, N. 3, pg. 137-143. May-Jun 2001.

ELLEBJERG, L. **Effectiveness and Benefits of Traffic Flow Measures on Noise Control WP H.1 Methods for Noise Control by Traffic Management SILENCE, SILENCE_H.D1_20070105.** 2007.

European Union. **Directive 2002/49/EC relating to the Assessment and Management of Environmental Noise.** Official Journal of the European Communities;. No. L 189. 2002.

FARCAS, F. **Road Traffic Noise. A study of Skane region,** Discertação de mestrado, Linköping University, Sweden, 2008.

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

GOELZER, B., HANSEN, C. H. e G. SEHRNDDT, G. A. **Occupational Exposure to Noise: Evaluation, Prevention, and Control.** Special Report S 64. Federal Institute for Occupational Safety and Health. Berlin 2001.

GOINES, L. HAGLER L. **Noise Pollution: A modern Plague,** Southern Medical Journal. Vol 100, nº 3 march 2007

GOLMOHAMMADI, R., ABBASPOUR, M., NASSIRI, P., MAHJUB H. **A compact model for predicting road traffic noise.** Iran. J. Environ. Health. Sci. Eng., , Vol. 6, N. 3, pg. 181-186 2009

GOOGLE MAPS, fotos de satélite, disponível <https://maps.google.com.br/> acessado em outubro de 2013.

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

HADDZI-NIKOLOVA, M., MIRAKOVSKI, D., ZDRAVKOVSKA, M., ANGELOVSKA, B. DONEVA, N., **Noise Exposure of School Teachers, Exposure Levels and Health Effects**, Archives of Acoustics, Vol. 38. N° 2, pp 259-264 (2013).

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

HOBAN C., TSUNOKAWA K. **Roads and the environment: a handbook**. edited by Christopher Hoban and Koji Tsunokawa. (World Bank technical paper; no. 376 1997).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise: ISO 1996-1. Basic quantities and assessment procedures: Part 1**, Suíça, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Acoustics - Description and measurement of environmental noise: ISO 1996-2. Acquisition of data pertinent to land use: Part 2**, Suíça, 1998.

Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC. **Curitiba Digital** – CD-ROM, Edição 2006.

JONG-SAN TSAY, JEN-JON LO AND YI-SHENG LIN. **The Study of Mathematical Model For Predicting Road Traffic Noise**. Tamkang Journal of Science and Engineering, Vol. 6, N. 2, pg. 111-120 2003.

KLAEBOE, R., ENGELIEN, E., STEINNES, M. **Context sensitive noise impact mapping**. Applied Acoustics, pg 620-642, 67. 2006.

KNAUSS, D. Noise mapping and annoyance. **Noise and Health**. 4.15, apr-jun 2002.

KRICHGIN, V. J. **Health effects of noise exposure**, Journal of Sound and Vibration, 59.1, pg 65-71, 1978.

LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C; Morata, T.C.; Marques, J.M.; ZANNIN, P.H.T. **Ambiente Urbano e Percepção da Poluição Sonora.** Ambiente & Sociedade, Campinas, v3, n2, 2005.

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

LEKAVICIUTE, J. & JERAM, S. **Environmental noise and cardiovascular disease in adults - Research in Central, Eastern and South-Eastern Europe and Newly Independent States.** Noise and Health. 15.62 pg 22, jan-feb 2013.

LIU, C., FUERTES, E., TIESLER, C., BIRK, M., BABISCH, W., BAUER, C. P. **The association between road traffic noise exposure and blood pressure among children in Germany - The GINplus and LISplus studies.** Noise and Health, 16.54, may-jun 2013.

MAKAREWICZ, R., GALUZKA, M. **Empirical revision of noise mapping.** Applied Acoustics, pg 578-851, 72 – 2011-A.

MAKAREWICZ, R., GALUZKA, M. **Road traffic noise prediction based on speed-flow diagram.** Applied Acoustics, pg 190-195, 72 – 2011-B.

MONDAL, N. K. K., **Perception level of noise among trainee teachers,** W. B., India, Research Journal of Management Sciences, Vol2, iss 6, pp17-21, 2013

MURPHY, E., KING E.A. **Strategic environmental noise mapping: methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directives and their policy implications.** Environmental International, Vol 36, Issue 3, pages 290-298. 2010.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e Análise do Ruído Ambiental: Diretrizes e metodologia,** Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2004.

NASS, Daniel Perdigão. **O conceito de poluição**. Revista Eletrônica de Ciências - Número 13 - Novembro de 2002. Disponível em: <http://cdcc.sc.usp.br/ciencia/artigos/art_13/poluicao.html> Acesso em 25/09/2013

NEVES, R. R., SILVEIRA, D. V., ALMEIDA, G. A., COSTA, K. M. C., **O paradigma da segregação dos campi universitários no Brasil: Distanciamento físico em implicações sociais**, Congresso Urbicentros 3, Salvador, 2012

OTUTU, O. J. **Investigation of Environmental Noise Within Campus 2, Delta State University, Abraka, Nigeria**, International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, Volume 6, issue 2, pages 223-229. February 2011.

PAZ, E.C. **Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego**. Dissertação de mestrado. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2004.

PAZ, E.C.; FERREIRA, A. M. C.; ZANNIN, P.H.T. **Estudo comparativo da percepção do ruído urbano**. Revista Saúde Pública, São Paulo. V 39, n 3. P467-472. 2005.

PÉREZ, F. P.; BARO, E. N.; ANCELA, J. L. C. **Mapa Estratégico de Ruido Del Campus Universitario de Teatinos (Malaga)**, Technica Acustica 2010, 41° Congresso Nacional de Acústica – 6° Congresso Ibérico de Acústica. Leon, 2010

PHUAKN, B.; KALITA, K. **An Experimental Study of Noise Pollution in Gauhati University Campus, Guwahati, Assam, India**, International Journal of Environmental Sciences, Volume 3, nº5, pages 1776-1784. 2013.

POPESCU, D. I., MOHOLEA, I. F. **Monitoring the Reaction and Response of People to Urban Noise**. Archives of Acoustics, Vol 35 N° 2, pg 237-244, may 2010.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, **Lei nº 9.800 - Sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba** de 03 de janeiro de 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – PMC, SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE – SMMA. **Lei No. 10.625, de 19 de fevereiro de 2002: Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público e dá outras providências.** Curitiba, 2002.

RIBAS, A. **Reflexões sobre o ambiente sonoro da cidade de Curitiba: a percepção do ruído urbano e seus efeitos sobre a qualidade de vida de moradores dos setores especiais estruturais.** Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, 219p, 2007.

RECCO, Claudio B. História: **A Revolução Industrial na Inglaterra.** Folha de S. Paulo 08/08/2002. Disponível em: <<http://www1.folha.uol.com.br/folha/educacao/ult305u10188.shtml>> Acesso em 25/09/2013

RYLANDER, R. **Medical effects of noise exposure - Basic considerations.** Journal of Sound and Vibration, 59.1 pg 61-63, 1978.

SALOMONS, E. M., JANSSEN, S. A. **Practical Ranges of Loudness Levels of Various Types of Environmental Noise, Including Traffic Noise, Aircraft Noise, and Industrial Noise.** International Journal of Environmental Research and Public Health, 8-2011.

SCHADE, W. **Transport noise: a challenge for sustainable mobility,** International Social Science Journal, Vol. 55, Is. 2, 2008

SU, W.; KANG, J.; JIN, H. **Acoustic Environment of University Campuses in China,** Acta Acustica United with Acustica, Volume 99, pages 410-420. 2013.

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

UC BERKELEY, **2020 Long Range Development Plan, Cap. 4.9 Noise,** The University of California – Berkeley, January 2005.

UNESCO, **Noise Pollution**, 2003, disponível em <http://www.unesco.org/education/educprog/ste/pdf_files/sourcebook/module18.pdf> Acesso em 25/09/2013

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, **Noise: A Health Problem**, Washington, DC 20460, August 1978, disponível em: <<http://www.nonoise.org/library/epahlth/epahlth.htm>> Acesso em 25/09/2013

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, **NOISE EFFECTS HANDBOOK - A Desk Reference to Health and Welfare Effects of Noise**, Fort Walton Beach, Florida, 1981 Disponível em <[http://www.nonoise.org/library/handbook/handbook.htm#THE NATIONAL NOISE PROBLEM](http://www.nonoise.org/library/handbook/handbook.htm#THE_NATIONAL_NOISE_PROBLEM)> Acesso em 25/09/2013

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, portal disponível em <http://www.utfpr.edu.br> . portal acessado em outubro de 2013.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, **Environmental Health Criteria 12**, Geneva 1980

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, **Guidelines to Community Noise**, Geneva, 1999.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Regional Office for Europe. **Environmental noise**, 326 pages, Londres, Reino Unido, 2011.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION - Regional Office for Europe., **Burden of disease from environmental noise - Quantification of healthy life years lost in Europe**. Copenhagen, Denmark, 2011, disponível em: <http://www.who.int/entity/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf.> Acesso em 25/09/2013

Xie, H., Kang, J., TOMPSETT, R. **The impacts of environmental noise on the academic achievements of secondary school students in Greater London**. Applied Acoustics, Vol 72, issue 8, pg 551-555. July 2011.

YOZA, L. S. Y.; CASAÑO, O. S.; TINEO, S. D.; CASTILLO, L. E. L. **Ruido Ambiental en El Campus de La Universidad Nacional Agraria La Molina**, Anales Científico de La Universidad Nacional Agraria La Molina, Volume 68 (2), Lima, Peru, 2007.

ZANNIN, P.H.T.; CALIXTO, A.; DINIZ, F.B.; FERREIRA, J.A. **A survey of urban noise annoyance in a large brasilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis**. Environmental Imapct Assessment Review. N23 p245-255. 2003.

ZANNIN, P. H. T.; ENGEL, M. S.; FIEDLER, P. E. K.; BUNN, F. **Characterization of Environmental Noise based on Noise Measurements, Noise Mapping and Interviews: A Case Study at a University Campus in Brazil**, Cities, Volume 31, pages 317-327. 2013.

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

ZHAO, J., ZHANG, X., CHEN, Y. **A novel traffic-noise prediction method for non-straight roads**. Applied Acoustics, 276-280, 73. 2012.

ZHOU, J.; ZHANG, X. **Monitoring and Assessment of Campus Noise in Hebei University of Engineering**, International Journal of Advancements in Computing Technology, Volume 4, n° 20, pages 321-330. November 2012.

P-10	66,1	69,7	60,3	15:37	A	45	0	2	180	0	8	95,7%	0,0%	4,3%
P-10					B	0	6	0	0	24	0	0,0%	100,0%	0,0%
P-10					C	0	8	0	0	32	0	0,0%	100,0%	0,0%
P-10					D	29	2	0	116	8	0	93,5%	6,5%	0,0%
P-11	65,4	67,3	59,5	15:54	A	32	0	2	128	0	8	94,1%	0,0%	5,9%
P-11					B	0	8	0	0	32	0	0,0%	100,0%	0,0%
P-11					C	0	7	0	0	28	0	0,0%	100,0%	0,0%
P-11					D	25	2	0	100	8	0	92,6%	7,4%	0,0%
P-12	63,2	67,2	55,4	16:11	E	18	3	0	72	12	0	85,7%	14,3%	0,0%
P-12					F	0	1	3	0	4	12	0,0%	25,0%	75,0%
P-13	67,4	71,3	63,8	16:27	H	213	16	15	852	64	60	87,3%	6,6%	6,1%
P-14	72,4	74,3	69,7	16:43	H	248	13	19	992	52	76	88,6%	4,6%	6,8%
P-15	59,0	69,4	54,2	17:00	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
P-16	73,5	75,5	71,7	17:17	H	230	6	20	920	24	80	89,8%	2,3%	7,8%
P-17	64,2	71,7	53,5	17:45	I	4	0	4	16	0	16	50,0%	0,0%	50,0%
P-18	59,2	61,1	55,8	18:02	J	3	0	1	12	0	4	75,0%	0,0%	25,0%
P-19	74,9	76,7	72,3	18:18	G	320	9	37	1280	36	148	87,4%	2,5%	10,1%
P-20	X	X	X	18:36	J	19	2	6	76	8	24	70,4%	7,4%	22,2%
P-21	X	X	X	18:55	I	16	0	7	64	0	28	69,6%	0,0%	30,4%
P-22	X	X	X	19:14	E	23	1	9	92	4	36	69,7%	3,0%	27,3%
P-22					F	32	3	6	128	12	24	78,0%	7,3%	14,6%

APÊNDICE B: CÁLCULO DO FLUXO DE VEÍCULOS PARA O CENÁRIO DE FUTURO

		Fluxo H					
		VL	VP	M	VL	VP	M
07:00	08:00	2.132	87	100	326	48	14
08:00	09:00	2.040	60	85	368	48	10
17:00	18:00	2.749	70	125	372	74	5
18:00	19:00	3.205	41	111	338	69	19
19:00	20:00	2.638	39	102	282	65	7
média horária		2.864	50	113	331	69	10

		Fluxo D					
		VL	VP	M	VL	VP	M
07:00	08:00	122	2	3	51	1	1
08:00	09:00	141	3	8	40	-	2
17:00	18:00	256	1	20	103	-	3
18:00	19:00	276	-	19	124	-	7
19:00	20:00	214	1	8	100	-	6
média horária		249	1	16	109	-	5

		Fluxo B		
		VL	VP	M
07:00	08:00	2	14	-
08:00	09:00	1	13	-
17:00	18:00	-	14	-
18:00	19:00	2	16	-
19:00	20:00	-	14	-
média horária		1	15	-

		Fluxo C		
		VL	VP	M
07:00	08:00	-	14	-
08:00	09:00	-	11	-
17:00	18:00	69	-	5
18:00	19:00	77	1	12
19:00	20:00	60	2	5
média horária		69	1	7

		Fluxo A								
		VL	VP	M	VL	VP	M	VL	VP	M
07:00	08:00	51	1	1	244	8	17	59	1	10
08:00	09:00	40	-	2	230	7	17	67	5	5
17:00	18:00	103	-	3	-	12	20	345	8	18
18:00	19:00	124	-	7	2	13	-	375	6	10
19:00	20:00	100	-	6	-	11	-	259	1	14
média horária		109	-	5	1	12	7	326	5	14

		Fluxo G					
		VL	VP	M	VL	VP	M
07:00	08:00	330	61	19	2.222	64	160
08:00	09:00	296	55	21	2.356	93	154
17:00	18:00	363	45	19	2.221	66	169
18:00	19:00	409	41	24	2.180	42	165
19:00	20:00	354	46	15	1.684	35	92
média horária		375	44	19	2.028	48	142