

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALAÍSES CRISTINE WEBER

**O USO DE PLATAFORMAS MÓVEIS E INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA  
NO MAPEAMENTO DE POLUIÇÃO SONORA – UM ESTUDO DE CASO NO  
ENTORNO DE TERMINAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**

CURITIBA  
2016

ALAÍSES CRISTINE WEBER

O USO DE PLATAFORMAS MÓVEIS E INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA VOLUNTÁRIA  
NO MAPEAMENTO DE POLUIÇÃO SONORA – UM ESTUDO DE CASO NO  
ENTORNO DE TERMINAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao curso de Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Silvana Philippi Camboim

CURITIBA

2016

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus.

Ao meu pai, Acácio, pela amizade, pelo apoio, e por ter cedido seu tempo para me acompanhar nas medições realizadas para o trabalho.

À minha mãe, Isabel, pelo companheirismo, pelo apoio e por estar sempre disponível para me dar opiniões construtivas sobre os meus trabalhos acadêmicos.

À minha orientadora, Silvana Camboim, pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação, e pelo apoio desde o início do ano.

Aos meus irmãos e amigos, pelo apoio e compreensão.

## RESUMO

De acordo com dados da OMS, a degradação sonora é a terceira forma de poluição que mais afeta a população mundial (PAZ; ZANNIN, 2012). Uma das causas da sua intensificação ocorreu devido ao crescimento demográfico e decorrente urbanização. Além de afetar a saúde física e mental do homem, esse tipo de poluição pode trazer prejuízos para a comunidade ecológica e para a sociedade; portanto, é importante encontrar ferramentas que permitam sua avaliação e gestão. Nesse contexto, os mapas de ruído se tornam especialmente úteis. O objetivo do presente trabalho consiste em aplicar uma técnica alternativa à metodologia clássica de elaboração de mapas acústicos para avaliar a poluição sonora no entorno de sete equipamentos urbanos localizados na Região Metropolitana de Curitiba (PR - Brasil). A ideia inicial é a partir dos conceitos de *Volunteered Geographic Information – VGI e crowdsourcing*, usar *smartphones* como sensores de ruído. Para tanto, diferentes aplicativos gratuitos foram testados e a opção mais adequada encontrada foi o *NoiseTube*. Os valores obtidos com o uso do aplicativo escolhido foram posteriormente interpolados, por meio da técnica IDW ofertada pelo *software* livre QGIS. Como resultado, mapas de ruído do entorno dos sete terminais de transporte da Região Metropolitana de Curitiba foram gerados. Observou-se que frequentemente o ruído extrapola os limites estabelecidos pelas leis pertinentes, especialmente nas regiões das Zonas de Silêncio, delimitadas ao redor de escolas, hospitais e hotéis. O uso de VGI através da ferramenta *NoiseTube* permite que cidadãos, não apenas os integrantes da comunidade acadêmica, possam realizar o levantamento de informações relevantes à sua qualidade de vida. Adicionalmente, ele fornece ao poder público informações referentes ao diagnóstico da situação em tempo real. Conseqüentemente, é possível viabilizar a democratização de informações ambientais, bem como a participação ativa da comunidade em geral.

Palavras-chave: Mapeamento de Ruído. *Volunteered Geographic Information*. *Crowdsourcing*. *NoiseTube*. IDW.

## ABSTRACT

According to WHO, noise degradation is the third type of pollution that affects the world population the most (PAZ; ZANNIN, 2012). One of the causes of its intensification was the demographic growth and resulting urbanization. In addition to affecting the physical and mental health of men, this form of pollution may harm the ecological community and the society; therefore, it is important to find means that allow its assessment and management. In this context, noise maps become particularly useful. The present work aims to apply an alternative technique to the elaboration of acoustic maps in order to evaluate noise pollution around seven urban equipments located in the Metropolitan Region of Curitiba (PR – Brazil). The initial idea is to use smartphones as noise sensor, based on the concepts of Volunteered Geographic Information – VGI and crowdsourcing. In order to achieve that, different free applications were tested, and the most adequate one was NoiseTube. Later, the values obtained from the chosen application were interpolated through IDW technique, which is offered by the open source software called QGIS. As a result, noise maps of the surroundings of seven transport terminals from the Metropolitan Region of Curitiba were created. It was possible to observe that noise often exceeds the limits established by the relevant laws, especially in Silence Zones, which are located around schools, hospitals and hotels. The use of VGI through the application of the tool named NoiseTube allows citizens, not only the ones that integrate the academic community, may collect information that are relevant to their quality of life. Additionally, it provides public authorities with data regarding the diagnosis of the situation in real time. Consequently, it enables the democratization of environmental information, as well as the active involvement of the general community.

Keywords: Noise Mapping. Volunteered Geographic Information. Crowdsourcing. NoiseTube. IDW.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REDE INTEGRADA DE TRANSPORTE.....	43
FIGURA 2 - MODELO ESQUEMÁTICO DE TERMINAIS.....	44
FIGURA 3 - ETAPAS DA METODOLOGIA.....	46
FIGURA 4 - TESTE COM <i>SOUNDCITY</i> .....	49
FIGURA 5 - TESTE COM <i>NOISEMAP</i> .....	50
FIGURA 6 - TESTE COM <i>NOISETUBE</i> .....	51
FIGURA 7 - PERFIL DO USUÁRIO.....	52
FIGURA 8 - ÁREA DE ESTUDO.....	53
FIGURA 9 - PROPOSTA DE TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TUBO MARECHAL FLORIANO.....	57
FIGURA 10 - PROPOSTA DE TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DO CAMIPNA DO SIQUEIRA.....	58
FIGURA 11 - PROPOSTA DE TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO.....	58
FIGURA 12 - PROPOSTA DE TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL.....	59
FIGURA 13 - PROPOSTA DE TRAJETOS PARA O ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA.....	59
FIGURA 14 - PROPOSTA DE TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DE FAZENTA RIO GRANDE.....	60
FIGURA 15 - PROPOSTA DE TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS.....	60
FIGURA 16 – MENSAGEM DE ERRO DO APLICATIVO <i>NOISETUBE</i> .....	71

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES SONORAS.....	20
QUADRO 2 - QUADRO COMPARATIVO: <i>SOUNDCITY</i> , <i>NOISEMAP</i> , <i>NOISETUBE</i> .....	47
QUADRO 3 - CARACTERIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS URBANOS DA RMC.....	54
QUADRO 4 - EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL.....	65
QUADRO 5 - EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA.....	65
QUADRO 6 - EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO.....	65
QUADRO 7 - EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIA NO ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA.....	66
QUADRO 8 - EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DE FAZENDA RIO GRANDE.....	67
QUADRO 9 - EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS.....	67

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COMPARAÇÃO PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	25
TABELA 2 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO NCA PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A).....	28
TABELA 3 - NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS PARA CURITIBA.....	30
TABELA 4 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDOS EM PINHAIS.....	31
TABELA 5 - LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDOS EM FAZENDA RIO GRANDE.....	32
TABELA 6 - COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA O TUBO MARECHAL FLORIANO.....	62
TABELA 7 - RESULTADOS FINAIS DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS.....	63
TABELA 8 - IDW <i>versus</i> INVERSE DISTANCE TO A POWER (2).....	63
TABELA 9 ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL - PARTE 1.....	72
TABELA 10 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL - PARTE 2.....	72
TABELA 11 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA - PARTE 1.....	74
TABELA 12 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA - PARTE 2.....	74
TABELA 13 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO - PARTE 1.....	76
TABELA 14 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO - PARTE 2.....	76
TABELA 15 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TUBO MARECHAL FLORIANO- PARTE 1.....	77
TABELA 16 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO TUBO MARECHAL FLORIANO - PARTE 2.....	78
TABELA 17 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA - PARTE 1.....	79

TABELA 18 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DA PREÇA RUI BARBOSA.....	79
TABELA 19 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE - PARTE 1.....	80
TABELA 20 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE - PARTE 2.....	80
TABELA 21 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS - PARTE 1.....	81
TABELA 22 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS - PARTE 2.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

BRT - *Bus Rapid Transit*

CBN - Central Brasileira de Notícias

COMEC - Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba

CONAMA - Conselho Nacional do Meio ambiente

CONEC - Setores Especiais Conectores

GPS - *Global Positioning System*

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW – *Inverse Distance Weighting*

IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba.

NBR - Norma Brasileira

NCA - Nível de Critério de Avaliação

NPS - Nível de Pressão Sonora

OMS - Organização Mundial da Saúde

PMC - Prefeitura Municipal de Curitiba

Pólo - LV - Pólo da Linha Verde

RIT - Rede Integrada de Transporte Coletivo

RMC - Região Metropolitana de Curitiba

SE - LV - Setor Especial da Linha Verde

SE - Setores Especiais Estruturais

SEC - Setor Especial Central

SE - NC - Setor Especial Nova Curitiba

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

URBS - Urbanização de Curitiba S.A,

VGI - *Volunteered Geographic Information*

WG - AEN - *European Comission Working Group Assessment of Exposure to Noise*

WHO - *World Health Organization*

ZC - Zona Central

ZR - Zonas Residenciais

ZRO - Zona de Restrição à Ocupação

ZT-NC - Zona de Transição Nova Curitiba

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	15
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	18
2.1	OBJETIVO GERAL	18
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	19
3.1	FUNDAMENTOS E TERMINOLOGIA BÁSICA	19
3.1.1	Som, Ruído e Poluição Sonora	19
3.1.2	Propagação Sonora e Propriedades Acústicas	19
3.1.2.1	Fontes Sonoras	20
3.1.2.2	Velocidade do Som	21
3.1.2.3	Período e Frequência	22
3.1.2.4	Comprimento de Onda	22
3.1.2.5	Intensidade sonora	23
3.1.2.6	Potência Sonora	23
3.1.2.7	Pressão Sonora	24
3.1.3	Medição de Ruído	24
3.1.3.1	Nível de Pressão Sonora	24
3.1.3.2	Nível de Pressão Sonora Equivalente	25
3.1.3.3	Curvas de Ponderação	26
3.1.3.4	Parâmetros Estatísticos	26
3.2	ASPECTOS NORMATIVOS	27
3.2.1	Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT	27
3.2.1.1	NBR 10152/1987: Níveis de ruído para conforto acústico	27
3.2.1.2	NBR 10151/ 2000: “Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”	27
3.2.2	Conselho Nacional do Meio ambiente - CONAMA	28
3.2.2.1	Resolução CONAMA nº 1, de 8 de março de 1990	28
3.2.2.2	Resolução CONAMA nº 2, de 8 de março de 1990	28
3.2.3	Lei Municipal nº 10.625/2002 do município de Curitiba	29

3.2.4 Lei Municipal nº 220/1997 do município de Pinhais .....	31
3.2.5 Leis Municipais nº 861/2011 e 1.079/2015 do município de Fazenda Rio Grande	31
3.3 MAPEAMENTO DE RUÍDOS .....	32
3.4 UMA ALTERNATIVA À METODOLOGIA CLÁSSICA DE MAPEAMENTO DE RUÍDOS .....	35
3.4.1 Informação Geográfica Voluntária e <i>Crowdsourcing</i> .....	35
3.4.2 <i>Smartphones</i> como sensores ambientais.....	38
3.5 ÁREA DE ESTUDO.....	41
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>45</b>
4.1 MATERIAIS .....	45
4.1.1 <i>Software</i> QGIS 2.14.3 .....	45
4.2 MÉTODOS .....	46
4.2.1 Escolha do <i>software</i> para mapeamento acústico .....	47
4.2.2 Delimitação da área de estudo.....	52
4.2.3 Medições em campo .....	56
4.2.4 Elaboração dos mapas para análise final.....	60
4.2.4.1 Interpolação dos dados de níveis de ruído.....	60
4.2.4.2 Delimitação das zonas de silêncio.....	64
4.2.4.3 Determinação do zoneamento urbano no entorno dos terminais.....	67
4.2.4.4 Finalização dos Mapas.....	67
4.2.5 Estimativa das áreas poluídas.....	68
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>69</b>
5.1 VIABILIDADE DO USO DE <i>SMARTPHONES</i> COMO SENSORES DE RUÍDO .....	69
5.2 TERMINAL DO CABRAL.....	72
5.3 TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA .....	73
5.4 TERMINAL DO PINHEIRINHO .....	75
5.5 TUBO MARECHAL FLORIANO .....	77
5.6 PRAÇA RUI BARBOSA.....	78
5.7 TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE .....	80
5.8 TERMINAL DE PINHAIS .....	81
5.9 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS .....	82

<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>83</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE 1 - MAPEAMENTO DE RUÍDO NO ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL (2016)</b> .....	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE 2 - MAPEAMENTO DE RUÍDO NO ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA (2016)</b> .....	<b>97</b>
	<b>APÊNDICE 3 - MAPEAMENTO DE RUÍDO NO ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO (2016)</b> .....	<b>98</b>
	<b>APÊNDICE 4 - MAPEAMENTO DE RUÍDO NO ENTORNO DO TERMINAL DO TUBO MARECHAL FLORIANO (2016)</b> .....	<b>99</b>
	<b>APÊNDICE 5 - MAPEAMENTO DE RUÍDO NO ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA (2016)</b> .....	<b>100</b>
	<b>APÊNDICE 6 - MAPEAMENTO DE RUÍDO NO ENTORNO DO TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE (2016)</b> .....	<b>101</b>
	<b>APÊNDICE 7 - MAPEAMENTO DE RUÍDO NO ENTORNO DO TERMINAL DR PINHAIS (2016)</b> .....	<b>102</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Poluição pode ser definida como uma alteração nas características naturais do ambiente, por meio de atividades que de alguma forma afetem negativamente a saúde, a segurança e o bem-estar da população; prejudiquem a biota; emitam uma intensidade de energia maior do que os padrões ambientais definidos; entre outros (BRASIL, 1981). Assim, os elevados níveis de ruído levam a chamada poluição sonora.

Conforme Chepesiuk (2005), o significativo crescimento demográfico, a substituição de áreas rurais por espaços urbanos, as tecnologias atuais, o aumento da movimentação tanto em rodovias quanto em aeroportos, juntamente com a falta de legislação adequada em muitos lugares do mundo são fatores que levaram a intensificação da poluição sonora. De fato, em uma escala de importância, os problemas nessa área enfrentados pela população do passado são limitados se comparados aos da população das cidades modernas. (GOINES; HAGLER, 2007). Em 2014, por exemplo, a fiscalização ambiental da Secretaria Municipal do Meio Ambiente de Curitiba recebeu 1634 reclamações referentes ao desconforto acústico, sendo 1281 delas referentes ao período noturno (PMC, 2014).

Segundo a Organização Mundial da Saúde – OMS (WHO, 2000, 2001 apud PAZ; ZANNIN, 2012), a degradação sonora é a terceira forma de poluição que mais afeta a população mundial, vindo apenas depois da poluição atmosférica e da água. Conforme diretrizes publicadas pela mesma instituição, 55dB(A) equivale ao nível médio de som não-prejudicial à qualidade de vida e saúde dos seres humanos, sendo que este limite baixa para 45 dB(A) no período correspondente ao sono. A partir de 65 dB(A), problemas como dificuldade para dormir, para compreender a fala e para realização de atividades, sejam elas por motivos de descanso ou profissionais, começam a aparecer. Por fim, valores que ultrapassem 85dB(A) podem levar a resultados mais drásticos como a perda de audição (WHO, 1999 apud SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015).

Além dos impactos citados brevemente acima, sendo considerado como uma poluição tóxica (PAZ; ZANNIN, 2012) o ruído pode trazer uma série de prejuízos, seja com relação à saúde, à sociedade, ao meio ambiente, entre outros. Em um ambiente

escolar, por exemplo, o ruído cria um contexto não favorável ao aprendizado (HAGEN; HUBER; KAHLERT, 2002 apud PAZ; ZANNIN, 2012). No que diz respeito à infraestrutura, pode levar ao desmoronamento de pontes e desenvolvimento de rachaduras em construções (VIJAYALAKSHMI, 2003). Segundo artigo publicado em 2012 na revista científica *Proceedings of the Royal Society B*, um estudo realizado no Novo México (Estados Unidos) concluiu que a poluição sonora pode ainda provocar alterações em serviços ecossistêmicos e na comunidade ecológica. Isso foi provado através de experimentos cujos resultados demonstraram que a exposição ao ruído foi indiretamente vantajosa na polinização realizada pela espécie *Archilochus alexandri* (*black-chinned hummingbird*), mas trouxe efeitos negativos no estabelecimento de plântulas da espécie *Pinus edulis*, uma vez que alterou a comunidade de animais que coletava e dispersava as sementes desta planta (FRANCIS et al., 2012).

Embora existam diferentes fontes para a geração de ruídos, dentre as quais: fábricas, obras civis, entre outros (EUROPEAN COMMISSION, 2016), o tráfego de veículos se classifica como o principal causador (SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015). Um estudo realizado em Curitiba por Zannin, Calixto e Diniz (2002) mostrou que dos 860 questionários avaliados, 73% apontavam o tráfego de veículos como a fonte sonora de maior incômodo.

A revisão do Plano Diretor de Curitiba estabelece em seu Art. 62, inciso XXVII, que a política municipal do meio ambiente deverá “promover estudo da gestão do ruído urbano, garantindo a saúde e o bem estar social e ambiental, viabilizando horários e locais para eventos” (CURITIBA, 2015, p. 72). Considerando a relevância do tema, torna-se necessário o uso de ferramentas para análise da poluição sonora e gestão deste problema ambiental. Neste contexto, surgem os mapas de ruído, os quais, segundo Suriano, Souza e Silva (2015, p. 2202), “permitem a quantificação do ruído, a avaliação da exposição da população, o desenvolvimento de cenários futuros, a identificação de área de conflito e as propostas de soluções”. Para tanto, existem diferentes *softwares* comerciais. Destacam-se, dentre outros: *SoundPLAN* (GARAVELLI, et al., 2010.; JESUS, 2013; ZAPATA-RODRÍGUEZ et al., 2015; KO; CHANG; LEE, 2011; REGO; NIEMEYER, 2014, e diversas fontes); *Predictor 7810*

(ENGEL, 2012; SOARES, 2013; FIEDLER, 2013, etc); e *Cadna-A* (SILVA, 2015, SURIANO; SOUZA; SILVA, 2015, entre outros).

Para a aplicação destes *softwares*, faz-se necessário usar como dados de entrada diferentes informações, como fluxo de tráfego e tipos de veículos. No entanto, considerando que o levantamento destes dados possui um custo elevado, os mapas de ruído acabam sendo atualizados depois de um alguns anos (RANA, 2010). Uma solução alternativa que vem sendo sugerida se baseia em *Volunteered Geographic Information* (VGI, Informação Geográfica Voluntária), que consiste no desenvolvimento de informações geográficas por cidadãos privados e com pouca qualificação (GOODCHILD, 2007a). Neste contexto, está incluído também o *crowdsourcing*, que consiste na “prática de obtenção de conteúdos [...] necessários através de contribuições de um grande número de pessoas e especialmente da comunidade online, ao invés de funcionários e fornecedores tradicionais”. (CROWDSOURCING, 2016). Dentro destas ideias, encontra-se a possibilidade de o público utilizar *smartphones* como sensores de ruído, uma solução de baixo custo (STEVENS; D’HONDT, 2010). Isso se torna aplicável, considerando que atualmente estima-se que 80% de usuários da internet possuem estes celulares (MURPHY; KING, 2016).

Curitiba é conhecida pelo seu sistema integrado de transporte. Assim, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar a utilização de *software* desenvolvido para smartphones na geração, a partir do conceito de VGI, de mapas acústicos representando a poluição sonora causada no entorno dos chamados terminais de transporte público da Região Metropolitana de Curitiba. O estudo será realizado em sete equipamentos urbanos de mobilidade, cinco localizados na capital, um no município de Fazenda Rio Grande/ PR, e um em Pinhais/PR.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo avaliar, através do uso de *softwares* livres e informação geográfica voluntária, a poluição sonora em diferentes equipamentos urbanos de transporte localizados na Região Metropolitana de Curitiba, bem como analisar a aplicabilidade destes *softwares*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o atendimento do objetivo geral, são propostos os seguintes objetivos específicos:

1. Realizar levantamento bibliográfico sobre diferentes aplicativos de monitoramento de ruído desenvolvidos para *smartphones*;
2. Selecionar e comparar três aplicativos, a fim de determinar qual *software* será efetivamente aplicado no projeto;
3. Determinar em quais terminais de ônibus o projeto será desenvolvido.
4. Obter as medições de níveis sonoros para mapeamento;
5. Interpolar os dados obtidos através do *software* QGIS para elaboração dos mapas finais e visualização do problema;
6. Delimitar as áreas no entorno de terminais classificadas como Zonas de Silêncio;
7. Analisar os resultados com base nos limites definidos pela legislação pertinente, de modo a verificar se as condições observadas podem ser classificadas como poluição sonora;
8. Concluir a respeito da aplicabilidade, adequabilidade e utilidade de *smartphones* como sensores ambientais, especificamente no caso referente a ruídos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 FUNDAMENTOS E TERMINOLOGIA BÁSICA

##### 3.1.1 Som, Ruído e Poluição Sonora

Som é o que ocorre quando a energia resultante da vibração mecânica em meio elástico, seja este sólido, líquido ou gasoso, é transportada através de ondas sonoras progressivas (HASSALL; ZAVERI, 1979 apud FILHO, 2012). Bistafa (2006) afirma que em situações em que este som não possui harmonia, ele passa a ser denominado ruído, sendo que dependendo da referência sob a qual o som é observado, o mesmo pode ou não ser classificado como tal. De um modo geral, ruído é um som incômodo (BISTAFA, 2006).

Existem dois tipos de ruído, denominados ruído ambiente e ruído de fundo. O primeiro ocorre devido a diversas fontes, com direções variadas, próximas e distantes, presentes em certo ambiente e em um determinado tempo. As fontes sonoras que consistem no objeto de estudo causam o chamado ruído ambiente; as demais geram o ruído de fundo (HARRIS, 1998 apud ENGEL, 2012). Denomina-se de ruído urbano ou ambiental aquele responsável pela poluição sonora urbana (ENGEL, 2012).

De acordo com Wheale (1992), poluição é a entrada, no meio, de substâncias que tragam prejuízos para a saúde e bem-estar humano, e para os ambientes construídos ou naturais. No caso da poluição sonora, o agente caracterizador é o ruído (FILHO, 2012).

##### 3.1.2 Propagação Sonora e Propriedades Acústicas

Onda sonora é o nome dado para o aspecto das vibrações de partículas responsáveis pela propagação de energia sonora em um meio ilimitado (ENGEL, 2012). O movimento das partículas se dá longitudinalmente em uma distância infinitesimal a partir de seus pontos de equilíbrio, sendo que apenas a energia é transportada pelas ondas (FILHO, 2012; ENGEL, 2012). As ondas sonoras, por sua vez, dão origem aos sons e ruídos. Geralmente, o meio de propagação do som é o ar, de modo que as

compressões e descompressões que nele ocorrem permitem a propagação de ondas sonoras (ENGEL, 2012).

A fim de melhor descrever o comportamento das ondas sonoras, é importante definir algumas de suas propriedades, que incluem: fontes sonoras, velocidade do som, período, frequência, comprimento de onda, intensidade, potência sonora e pressão sonora.

### 3.1.2.1 Fontes Sonoras

O som pode ser gerado por corpos, objetos ou sistemas, que recebem o nome de fontes sonoras (HASSAL; ZAVERI, 1979 apud ENGEL, 2012). Estas podem ser pontuais, quando o intervalo espacial que separa a fonte do receptor possuir dimensões significativamente superiores as da fonte; lineares, em situações nas quais há uma sequência de fontes pontuais gerando uma transmissão contínua de energia; ou em área, nos casos em que diversas fontes estão organizadas em um perímetro fechado (ENGEL, 2012). O Quadro 1 apresenta uma síntese da classificação de diferentes fontes sonoras com respectivos exemplos.

QUADRO 1 – CLASSIFICAÇÃO DE DIFERENTES FONTES SONORAS

Tipo de fonte sonora	Dimensões da fonte sonora		Exemplos
Fonte pontual	$s \gg h, b, l$		Máquinas individuais, coolers de glicol, transformadores, ventiladores e motores
Fonte linear	$s \gg h, b$	$l \gg h, b$	Tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, transporte de água e tubulações
Fonte areal	$s \gg b, l$	$h \gg b, l$	Grandes instalações industriais, oficinas de transporte ferroviário e estacionamentos
Legenda: l (comprimento da fonte sonora em m), b (largura da fonte sonora em m), h (altura da fonte sonora em m) e s (distância da fonte sonora e da fonte receptora em m).			

FONTE: HOHMANN et al., 2004 apud ENGEL, 2012, p. 33

Segundo Gerges (2000, apud FILHO, 2012) a energia propagada a partir das fontes de som diminui ao longo da sua transferência em ar livre, devido a diversos

fatores, dentre os quais: distância percorrida, barreiras, absorção atmosférica, vegetação, variação de temperatura e efeito do vento.

### 3.1.2.2 Velocidade do Som

A razão entre o deslocamento e o tempo, na qual as ondas sonoras são propagadas, consiste na variável denominada velocidade do som (ENGEL, 2012). Esta propriedade é diretamente proporcional à pressão do ar de equilíbrio e inversamente proporcional à densidade do ar de equilíbrio (KANG, 2007 apud FILHO, 2012), como demonstra a equação (1).

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot P_{ar}}{\rho}} \quad (1)$$

Onde:

$c$  = velocidade do som [m/s];

$\gamma$  = razão calorífica do gás;

$P_{ar}$  = pressão do ar [N/m<sup>2</sup>];

$\rho$  = densidade do ar [Kg/m<sup>3</sup>].

A fórmula (1) pode ser simplificada, de modo que a velocidade sonora possa ser calculada apenas a partir da temperatura, levando em consideração um processo adiabático, conforme mostra a equação (2) (GERGES, 2000 apud FILHO, 2012).

$$c = 331 + 0,6t \quad (2)$$

Onde:

$c$  = velocidade do som [m/s];

$t$  = temperatura do meio (ar) [°C].

Considerando a temperatura do ar como 20°C, a velocidade sonora seria então de aproximadamente 344 m/s (ENGEL, 2012; FILHO, 2012). Se o meio elástico para propagação da onda for o ar, a elevação da temperatura em 1°C acarretaria no aumento de 0,61 m/s na velocidade sonora (ENGEL, 2012).

### 3.1.2.3 Período e Frequência

Considerando-se um gráfico da variação da pressão ambiente (eixo vertical) pelo tempo (direção horizontal), o período ( $T$ ) é o intervalo de tempo necessário para que um ciclo seja completado na curva deste gráfico (BISTAFA, 2006). De acordo com Bistafa (2006, p.7), o ouvido humano perceberá o som nos casos em que “a variação da pressão ambiente for cíclica [...], e quando a amplitude for maior do que o limiar da audibilidade”. Quando isto ocorrer, a variação da pressão ambiente será denominada pressão sonora ou acústica (BISTAFA, 2006).

O inverso do período chama-se frequência, que pode ser definida como o número de repetições de uma onda sonora em um segundo. Sua unidade de medida é frequentemente o Hertz (Hz) (ENGEL, 2012; FILHO, 2012). Diferentes fontes sonoras podem gerar ondas com diferentes frequências (FILHO, 2012), sendo que a faixa considerada audível pelo ser humano vai de 20 a 20.000 Hz (BISTAFA, 2006). Segundo Souza et al. (2003 apud FILHO, 2012), os sons mais agudos equivalem às frequências mais elevadas, ao passo em que sons mais graves correspondem à frequências mais baixas.

### 3.1.2.4 Comprimento de Onda

Representado pela letra  $\lambda$ , o comprimento de onda é uma propriedade das ondas sonoras que pode ser relacionada com a velocidade sonora e com a frequência do som por meio da equação (3) (ENGEL, 2012; FILHO, 2013; BISTAFA, 2006).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (3)$$

Onde:

$\lambda$  = comprimento de onda [m];

$c$  = velocidade de propagação do som [m/s];

$f$  = frequência [Hz].

### 3.1.2.5 Intensidade sonora

Bistafa (2006, p. 12) define intensidade sonora ( $I$ ) como a “quantidade média de energia, na unidade de tempo, que atravessa uma área unitária perpendicular à direção de propagação da onda”. Sua unidade é o watt por metro quadrado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) (BISTAFA, 2006). A intensidade é uma grandeza vetorial, e, portanto indica a magnitude, a direção e o sentido de irradiação da energia sonora (BISTAFA, 2006).

No caso de ondas esféricas progressivas, ou seja, que não recebem interferências de outras ondas, a intensidade sonora pode ser obtida a partir da fórmula (4) (BISTAFA, 2006).

$$I_r = \frac{(A/r)^2}{2\rho c} \quad (4)$$

Onde  $(A/r)$  é a razão da amplitude da pressão sonora pela distância  $r$  da onda sonora esférica; e  $\rho c$  é a impedância característica do meio de propagação. No caso do ar à temperatura ambiente,  $\rho c$  é igual a 408 rayls [ $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ] (BISTAFA, 2006).

### 3.1.2.6 Potência Sonora

Potência sonora pode ser definida como a energia sonora que é irradiada por unidade de tempo através de uma fonte, sendo considerada independente do meio de propagação da onda. (FILHO, 2012). Essa energia sonora acarretará na geração de uma pressão sonora (BISTAFA, 2006). Tomando como base a definição de intensidade sonora, é possível calcular o valor da respectiva potência. No caso, por exemplo, de uma onda com formato esférico, a potência pode ser estimada através da multiplicação da intensidade, em uma distância  $r$ , pela área da superfície que abrange a esfera oscilante em tal distância, conforme a equação (5) (BISTAFA, 2006).

$$W = I_r \cdot 4\pi r^2 \quad (5)$$

Onde:

$W$  = potência sonora [Watts];

$I_r$  = intensidade sonora [ $\text{W}/\text{m}^2$ ];

$r$  = raio [m].

A potência sonora é uma característica intrínseca da fonte sonora que corresponde à sua capacidade de gerar o som (BISTAFA, 2006).

### 3.1.2.7 Pressão Sonora

Pressão sonora pode ser definida como a variação média de pressão, com base na pressão atmosférica. Sua unidade é o pascal (Pa), que por sua vez é equivalente a newtons por metro quadrado (N/m<sup>2</sup>) (ENGEL, 2012). A pressão sonora depende da potência sonora da fonte, da distância entre a fonte e o local de medição, da porcentagem de energia transmitida pela fonte que é absorvida, entre outros (BISTAFA, 2006). Ela consiste, de acordo com Bistafa (2006), na grandeza com maior relevância na caracterização dos efeitos do som sobre o homem.

### 3.1.3 Medição de Ruído

Os limites que definem a zona audível no caso do ser humano compreendem o limiar da audição e o limiar da dor. Como os valores incluídos nesta faixa são de uma abrangência significativa, o uso de escala linear para medição de sons torna-se inviável. Por exemplo, para a frequência de 1.000 Hz, a intensidade acústica que pode levar a sensação de dor equivale a  $10^{14}$  vezes a intensidade que pode ocasionar a sensação de audição. Sendo assim, a fim de tornar possível o trabalho com valores em ordens de grandezas tão variáveis, utiliza-se a escala logarítmica. A divisão mais adequada para esta escala corresponde ao décimo do log<sub>10</sub>, também chamado de decibel (dB) (GERGES, 1992, apud CANTIERI et al., 2010). A base adotada para a escala logarítmica é o limiar da audição humana, equivalente a 0 dB (BISTAFA, 2006).

#### 3.1.3.1 Nível de Pressão Sonora

A partir de uma pressão sonora  $P$ , é possível calcular o nível de pressão sonora NPS em dB, a partir da equação (6) (FILHO, 2012).

$$NPS = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{p_0} \quad (6)$$

Onde:

$NPS$  = Nível de pressão sonora [dB];

$P$  = Pressão sonora [ $N/m^2$ ];

$P_0$  = Pressão sonora de referência [ $2 \times 10^{-5} N/m^2$ ].

A Tabela 1 mostra uma comparação entre os valores de pressão sonora e os respectivos valores de nível de pressão sonora.

TABELA 1 – COMPARAÇÃO PARA O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Pressão Sonora ( $\mu Pa$ )	Nível de Pressão Sonora (dB, referência de 20 $\mu Pa$ )
20	0
65	10
200	20
640	30
2.000	40
6.400	50
20.000	60
60.400	70
200.000	80
600.400	90
2.000.000	100
6.400.000	110
20.000.000	120

FONTE: HARRIS, 1998 apud PAZ, 2004.

### 3.1.3.2 Nível de Pressão Sonora Equivalente

Para medição de sons não-estacionários, de acordo com Bistafa (2006) é adequado fazer uso de um nível médio durante o período de medições. Este valor é fornecido pelo descritor de nível de pressão sonora equivalente contínuo ( $Leq$ ), que por sua vez é uma média temporal que não leva em consideração fatores como a existência ou não de congestionamentos. A equação (7) permite o cálculo de  $Leq$  (SCHULTZ, 1972, apud ENGEL, 2012).

$$L_{eq} = 10 \log \left\{ \left( \frac{1}{t} \right) \left[ \int_{t_1}^{t_2} \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \right\} \quad (7)$$

Onde:

$L_{eq}$  = nível de pressão sonora equivalente [dB];

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

$p(t)$  = pressão sonora instantânea;

$p_0$  = pressão sonora de referência =  $2 \times 10^{-5}$  N/m<sup>2</sup>.

### 3.1.3.3 Curvas de Ponderação

As curvas de ponderação foram criadas com a função de reproduzir a sensibilidade do sistema auditivo de seres humanos (QUADROS, 2004). Estas curvas foram denominadas pelas letras A, B, C, e D. A curva A é sugerida para análises de ruído em comunidade, ruído de tráfego, conforto acústico, dentre outros, e tem sua utilização recomendada pelas normas técnicas de diferentes partes do mundo (DIN, 2004; ABNT, 2000; ISO, 1996, 1994; DBV, 1990; ANSI, 1988, 1967; IEC, 1979) (PAZ, 2004).

### 3.1.3.4 Parâmetros Estatísticos

$L_x$  corresponde ao nível de ruído que é excedido  $x\%$  do período em que a medição é realizada, sendo que os mais utilizados são:  $L_{10}$ ,  $L_{90}$ ,  $L_{50}$ ,  $L_0$  e  $L_{100}$ . Neste contexto, o  $L_{10}$  consiste nos valores excedidos durante 10% do tempo, de modo que representa valores de pico; ao passo em que  $L_{90}$  representa um ruído ambiental, pois aqui o nível de ruído é elevado pela maior parte do período da análise. Há ainda os valores  $L_{m\acute{a}x}$  e  $L_{m\acute{i}n}$ , representando os níveis mínimo e máximo, respectivamente (SILVA, 2015).

## 3.2 ASPECTOS NORMATIVOS

Neste tópico serão apresentadas normas relevantes e pertinentes ao assunto de poluição sonora, sem, contudo esgotar a abordagem do tema.

### 3.2.1 Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT

#### 3.2.1.1 NBR 10152/1987: Níveis de ruído para conforto acústico

A norma NBR 10152/ 1987: “Níveis de ruído para conforto acústico”, elaborada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), apresenta, para diferentes locais (hospitais, escolas, hotéis, residências, e outros), faixas de valores nas quais o número inferior corresponde a um nível sonoro para conforto e o valor superior representa o nível sonoro aceitável para cada caso. Números maiores que os determinados na tabela, responsáveis pelo desconforto, não causam necessariamente impactos na saúde. A norma parte do princípio de que as medições de ruídos foram realizadas com base na NBR 10151 e demais normas ABNT pertinentes (ABNT, 1987).

#### 3.2.1.2 NBR 10151/ 2000: “Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”

A norma NBR 10151/ 2000: “Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento”, desenvolvida pela ABNT visa, principalmente, determinar os limites aceitáveis de ruídos em comunidades, sem haver a necessidade de uma reclamação ser realizada previamente, bem como estabelecer os procedimentos para medições de ruído e para eventuais correções necessárias. Num primeiro momento a regulamentação apresenta conceitos básicos referentes a ruídos e suas medições. Depois, são determinados critérios para os equipamentos e procedimentos envolvidos na medição sonora, inclusive no que diz respeito ao processo de calibração. Vale observar que alguns dos critérios são especificados para os casos de ambientes externos e internos. O item 6, determinado “Avaliação do ruído”, estabelece que a avaliação do ruído deve ser feita com base na comparação entre o

nível de pressão sonora corrigido  $L_c$  e o nível de critério de avaliação NCA, explicitado na Tabela 2 a seguir. O valor de  $L_c$  para o caso particular de ruídos sem caráter impulsivo e sem componentes tonais é, de acordo com a norma, definido pelo  $L_{Aeq}$ , nível de pressão sonora equivalente. A norma é concluída com uma indicação dos tópicos que devem ser incluídos em um relatório de ensaio (ABNT, 2000).

TABELA 2 - NÍVEL DE CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO NCA PARA AMBIENTES EXTERNOS, EM dB(A)

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

FONTE: ABNT (2000)

### 3.2.2 Conselho Nacional do Meio ambiente - CONAMA

#### 3.2.2.1 Resolução CONAMA nº 1, de 8 de março de 1990

A Resolução nº 001/1990 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, determina que os ruídos emitidos por atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas (inclusive as de propaganda política) serão considerados prejudiciais à saúde e ao sossego público quando não respeitarem os critérios estabelecidos pela norma NBR 10151 – Avaliação do ruído em áreas habitadas visando o conforto da comunidade, da ABNT, sendo que as medições de ruído deverão ser realizadas conforme esta mesma norma. A resolução determina ainda que os níveis determinados pela NBR 10152 – Níveis de Ruído para conforto acústico deverão ser respeitados. (CONAMA, 1990a).

#### 3.2.2.2 Resolução CONAMA nº 2, de 8 de março de 1990

A Resolução nº 002/1990 do CONAMA institui o Programa Nacional de Educação e Controle na Poluição Sonora – SILÊNCIO, que deve ter como propósitos a promoção de cursos técnicos, a divulgação de matérias educativas sobre os impactos negativos causados pelos ruídos, encorajar a fabricação de maquinários cuja utilização gere uma menor intensidade de ruído, entre outros. Conforme esta resolução, o órgão responsável pela coordenação do Programa SILÊNCIO é o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.(CONAMA, 1990b).

### 3.2.3 Lei Municipal nº 10.625/2002 do município de Curitiba

A lei municipal nº 10.625, publicada em 19/12/2002 pela Prefeitura Municipal de Curitiba (CURITIBA, 2002) dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público, revoga as leis 8.583 de 02 de janeiro de 1995, 8.726 de 19 de dezembro de 1996, 9.142 de 18 de setembro de 1997, e dá outras providências. A lei estabelece que, quando da sua aplicação, o período diurno deve ser considerado das 07h01 as 19h00; o período vespertino, das 19h01 as 22h00; e o período noturno, das 22h01 as 07h00. Define ainda que a medição do nível de pressão sonora deverá ser realizada com base nos critérios definidos pela ABNT, podendo ser efetuada a cinco metros de uma das divisas do imóvel responsável pelo incômodo sonoro ou então em qualquer ponto dentro do imóvel que sofre os impactos deste incômodo (CURITIBA, 2002).

Conforme a lei nº 10.625/02 (CURITIBA, 2002), nos casos em que a propriedade que esteja sendo afetada pelo incômodo sonoro for uma escola, creche, biblioteca pública, hospital, ambulatório, casa de saúde ou semelhante com leitos para internamento, hotel ou similar, os critérios referentes ao nível de pressão sonora máximo que deverão ser utilizados serão aqueles referentes à zona classificada como ZR-1, sendo que deverá ser observado um raio de 200 metros de distância destes edifícios e a zona será definida como zona de silêncio, também denominada zona sensível à ruído (CURITIBA, 2002). A mesma regulamentação estabelece ainda, dentre outros, os limites específicos para os serviços de construção civil, as diferentes sanções para as pessoas físicas e jurídicas que não seguirem as determinações da lei em

questão, e determina as competências da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (CURITIBA, 2002). Os níveis de pressão sonora máximos definidos pela lei nº 10.625/02 pode ser observados na Tabela 3 (CURITIBA, 2002).

TABELA 3 – NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA MÁXIMOS PARA CURITIBA			
ZONAS DE USO	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
ZR-1, ZR-2, ZR-3, ZR-B, ZR-AV, ZR-M, APA-SARU, APA-SMRU	55 dB(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	60 dB(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	65 dB(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: CURITIBA (2002).

Legenda: APA-SARU - Setor de Alta Restrição de Uso, APA-SMRU - Setor de Média Restrição de Uso, APA-ST - Setor de Transição, APA-SUE - Setor de Uso Esportivo, APA-SS - Setor de Serviço, CONEC - Setor Especial Conector - Conectora 1,2,3,4, SC-SF - Setor Especial Comercial Santa Felicidade, SC-UM - Setor Especial Comercial Umbará, SE - Setor Especial Estrutural, SE-AC - Setor Especial da Av. Affonso Camargo, SE-BR-116 - Setor Especial da BR-116, SE-CB - Setor Especial da Rua Engenheiro Costa Barros, SE-CC - Setor Especial Centro Cívico, SE-CF - Setor Especial da Av. Comendador Franco, SEHIS - Setor Especial Habitação de Interesse Social, SEI - Setor Especial Institucional, SE-LE - Setor Especial Linhão do Emprego, SE-MF - Setor Especial da Av. Mal. Floriano Peixoto, SE-NC - Setor Especial Nova Curitiba, SE-OI - Setor Especial de Ocupação Integrada, SE-PE - Setor Especial Preferencial de Pedestres, SE-PS - Setor Especial do Pólo de *Software*, SEVC-PASSAÚNA - Setor Especial de Vias Coletoras, SEVS-PASSAÚNA - Setor Especial de Vias Setoriais, SE-WB - Setor Especial da Av. Pres. Wenceslau Braz, SH - Setor Histórico, ZC - Zona Central, ZOO - Zona de Ocupação Orientada, ZE-D - Zona Especial Desportiva, ZE-E - Zona Especial Educacional, ZEI-I (CIC) - Zona Especial de Indústria, ZE-M - Zona Especial Militar, ZES - Zona Especial de Serviços, ZI - Zona Industrial, ZR-1 - Zona Residencial 1, ZR-2 - Zona Residencial 2, ZR-3 - Zona Residencial 3, ZR-4 - Zona Residencial 4, ZR-AV - Zona Residencial Alto da Glória, ZR-B - Zona Residencial Batel, ZR-M - Zona Residencial Mercês, ZR-OC - Zona Residencial de Ocupação Controlada, ZUC-II - Zona de Urbanização Consolidada, ZR-SF - Zona Residencial Santa Felicidade, ZR-U - Zona Residencial Umbará, ZS-1 - Zona de Serviço 1, ZS-2 - Zona de Serviço 2, ZT-BR-116 - Zona de Transição BR – 116, ZT-MF - Zona de Transição Av. Mal. Floriano Peixoto, ZT-NC - Zona de Transição Nova Curitiba, Z-UM - Zona de Uso Misto.

### 3.2.4 Lei Municipal nº 220/1997 do município de Pinhais

A Lei Municipal nº 220 de 10 de setembro de 1997 dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público para a cidade de Pinhais. Seu conteúdo é similar ao da legislação correspondente ao caso de Curitiba. A lei estabelece os valores da Tabela 4 como limites máximos permissíveis de ruído (excluindo-se as situações que envolvem serviços de construção civil) (PINHAIS, 1997).

TABELA 4 – LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDOS EM PINHAIS

Zona de Uso	Diurno	Vespertino	Noturno
Zonas Residenciais 1	55 dB (A)	50 dB (A)	45 dB (A)
Demais Zonas e Setores Especiais	75 dB (A)	65 dB (A)	60 dB (A)

FONTE: PINHAIS (1997)

Para fins de cumprimento da lei nº 220/1997, considera-se que entre as 07:00 e 19:00 horas o período é diurno; das 19:00 as 22:00 horas o período é vespertino; e das 22:00 as 07:00 horas o período é noturno. Quando se tratar de uma região localizada dentro de um raio de 200 metros de hospitais, escolas, bibliotecas públicas, postos de saúde e demais casos semelhantes, denomina-se o setor como Zona de Silêncio (PINHAIS, 1997).

### 3.2.5 Leis Municipais nº 861/2011 e 1.079/2015 do município de Fazenda Rio Grande

A Lei Municipal nº 861, publicada em 16 de dezembro de 2011 pela Prefeitura Municipal de Fazenda Rio Grande dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público, e dá outras providências. Este documento define a Zona de Silêncio, também denominada de Zonal Sensível à Ruído, como a região cujos níveis de ruído devem atingir um valor baixo o suficiente para garantir que suas atividades possam ser adequadamente desenvolvidas. Fica estabelecido pela legislação que este setor será delimitado por um raio de 200 metros ao redor de hospitais, estabelecimentos de saúde, escolas, bibliotecas públicas e hotéis. A lei nº 861/2011 determina, ainda, que nestes casos os limites para poluição sonora serão os mesmos

que se aplicam a ASE – Área de Setor Especial, independentemente do zoneamento oficial do local (FAZENDA RIO GRANDE, 2011).

Em 26 de junho de 2015, a lei nº 1.079 foi elaborada para alterar o anexo I, referente aos limites máximos permissíveis de ruído, da Lei nº 861/2015. A nova redação pode ser observada na Tabela 5 a seguir (FAZENDA RIO GRANDE, 2015).

TABELA 5 – LIMITES MÁXIMOS PERMISSÍVEIS DE RUÍDOS EM FAZENDA RIO GRANDE

Zonas de uso	Diurno	Vespertino	Noturno
ASE	45 dB (A)	45 dB (A)	40 dB (A)
ZR1 - ZIA1 - ZIA2	55 dB (A)	50 dB (A)	45 dB (A)
ZIA3 - ZR2 - ZRE - ZT - SEC	60 dB (A)	55 dB (A)	50 dB (A)
ZC - ZCS	65 dB (A)	60 dB (A)	55 dB (A)
ZI - ZIS1 - ZIS2	70 dB (A)	60 dB (A)	60 dB (A)

Fonte: FAZENDA RIO GRANDE (2015)

Legenda: ZC – Zona Central, ZCS - Zona Comercial e de Serviços, ZI - Zona Industrial, ZIS1 – Zona Industrial e de Serviços 1, ZIS2 – Zona Industrial e de Serviços 2, ZR1 – Zona Residencial 1, ZR2 – Zona Residencial 2, ZRE – Zona Residencial Especial, ZT – Zona de Transição, ZIA1 - Zona de Interesse Ambiental I, ZIA2 - Zona de Interesse Ambiental II

Os períodos classificados aqui como diurno, vespertino e noturno são equivalentes aos definidos pelas leis nº 10.625/2002, de Curitiba, e nº 220/1997, de Pinhais (FAZENDA RIO GRANDE, 2011).

### 3.3 MAPEAMENTO DE RUÍDOS

A Diretiva EU END 2002/49/EC determinou que todos os países da União Europeia deveriam entregar mapas de ruído referentes a aglomerações populacionais que apresentassem mais do que 250.000 habitantes até 30/06/2007, e mapas para o caso de aglomerações com mais do que 100.000 de pessoas até 30/06/2012. (FIEDLER, 2013). A mesma regulamentação definiu o chamado mapa estratégico de ruído como um “mapa para fins de avaliação global da exposição ao ruído em determinada zona, devido a várias fontes de ruído, ou de estabelecimento de previsões globais para essa zona” (PARLAMENTO EUROPEU, 2002).

O objetivo da elaboração de mapas acústicos (ou ainda, mapas de ruído) é apresentar os níveis de ruído de uma maneira similar com que se representam as

curvas topográficas de uma dada região, permitindo assim uma representação visual da poluição sonora (GUEDES; BERTOLI, 2015).

Os mapas de ruído permitem a investigação e a avaliação de um ambiente sonoro, bem como a identificação das principais fontes sonoras com suas respectivas contribuições em termos de níveis sonoros. Permitem, ainda, que sejam feitas predições de condições futuras, após, por exemplo, uma possível alteração nas características de um sistema viário urbano, e constituindo, portanto, numa ferramenta interessante para o planejamento de uma cidade. Por fim, a gestão permanente de uma base de dados referentes à poluição sonora reduziria o número de medições de campo necessárias. Considerando que idas a campo são custosas em termos de tempo e dinheiro, bem como estão vinculadas a condições meteorológicas específicas, esta utilidade dos mapas de ruído é importante. No geral, mapas acústicos permitem que medidas visando à redução dos ruídos possam ser tomadas, melhorando, assim, a qualidade do ambiente sonoro. Eles são uma ferramenta importante para a gestão de ruídos e a base de dados gerada a partir da elaboração de mapas acústicos pode ser de grande utilidade para políticas públicas, zoneamento urbano e planejamento de uso do solo (FIEDLER, 2013).

Para que tais mapas sejam elaborados, utilizam-se diferentes *softwares* de mapeamento de ruído, os quais funcionam da seguinte maneira: tendo como base parâmetros de tráfego e características topográficas da região, eles estimam níveis de imissão sonora para um número significativo de pontos, de modo que o resultado final apresenta os diferentes níveis sonoros em uma escala de cores. Vale observar que há uma diferença entre emissão e imissão de ruídos: a emissão sonora é causada pelas fontes sonoras, ao passo em que a imissão se refere a como o ruído é percebido por aquele que recebe o impacto (FIEDLER, 2013). Como exemplo de dados necessários, têm-se: posicionamento e altura de edifícios (adquiridos por meio de fotografias aéreas, pesquisa, etc), localização e caracterização de diferentes fontes sonoras, entre outros (KANG, 2007 apud ENGEL, 2012). Dentre os *softwares* mais utilizados estão: CADNA, ENM, IMMI, Mitra, Predictor-Lima, Noisemap, e SoundPLAN, fluidyn, GIpSynoise (FIEDLER, 2013; KANG, 2007 apud ENGEL, 2012).

Acoplada a escolha do *software* de mapeamento, vem a seleção de um modelo de predição acústica. De acordo com Fiedler (2013), dentre os modelos rodoviários mais populares estão: o ISO 9613 -1/2 *Road*, o *Richtlinien für den Lärmchutz an Straßen* (RLS-90) da Alemanha, o método francês NMPB-2008, o *Calculation of Road Traffic Noise* (CRTN) utilizado no Reino Unido, e o *Federal Highway Administration* (FHWA) dos Estados Unidos. Os modelos matemáticos caracterizam a propagação de ondas sonoras com base nas “características acústicas das fontes [...], geométricas da área (topografia, edifícios, muros, etc.), meteorológicas (vento, temperatura, umidade relativa), além de importantes fenômenos acústicos (reflexão e difração)” (GUEDES; BERTOLI, 2015, p. 42).

Um dos métodos com maior utilização é o da ISO 9613-2/1996. Outras sugestões para elaboração de mapas de ruídos são apresentadas pelo Grupo de Trabalho que Analisa a Exposição ao Ruído da Comissão Europeia – *European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise* (WG-AEN) (ENGEL, 2012). A ISO 9613/1996 é composta por duas partes: Parte 1 - Cálculo da absorção do som na atmosfera; e Parte 2 – Método geral de cálculo (ISO, 1996). Conforme ENGEL (2012, p. 39), o escopo da ISO 9613 se refere a “níveis de ruído de tráfego rodoviário, ferroviário, construção, industrial e de outras fontes, não sendo, porém, válido para aeronaves em voo, operações militares e explosões em ondas que estão associadas à atividades de mineração”.

Uma etapa importante, quando do uso de *softwares* de predição acústica, é a calibração do modelo a partir de medições de campo e registro de dados. Isso é relevante, pois permite a correção de distorções resultantes das peculiaridades de cada local. Vale lembrar que os *softwares* de mapeamento são, em sua maioria, desenvolvidos com base na diretiva europeia, e, portanto, precisam de variáveis que os adaptem a realidade brasileira (REGO; NIEMEYER, 2014). Dentre os dados necessários à calibração, estão: ordem de reflexão, avaliações e períodos de tempo de referência, e um raio que delimite a região na qual as fontes serão pesquisadas (KANG, 2007 apud ENGEL, 2012).

### 3.4 UMA ALTERNATIVA À METODOLOGIA CLÁSSICA DE MAPEAMENTO DE RUÍDOS

A maneira clássica de avaliar ruídos está baseada na utilização de sonômetros, por um período curto de tempo e em lugares dispersos (aeroportos, rodovias, áreas industriais, etc.). Então, a partir dos dados obtidos, os mapas de ruídos são elaborados por meio de modelos de propagação (MAISONNEUVE et al., 2009). Embora seja eficiente, esta metodologia possui aspectos negativos, os quais, de acordo com MAISONNEUVE et al. (2009), incluem:

- a) Custo elevado, uma vez que requer mão de obra especializada e apresenta gastos com o sonômetro e com o processamento de dados, limitando, assim, seu uso em locais com orçamento baixo para esse tipo de atividade;
- b) Baixa granularidade de dados espaço-temporais, devido à coleta de dados ser feita em locais dispersos;
- c) Não elaboração de mapas de ruídos em ambientes internos, nos quais as pessoas passam uma parte significativa do tempo;
- d) Falha na avaliação de níveis de ruídos aos quais os cidadãos estão efetivamente sujeitos, análise esta que seria possível através de uma análise conjunta com dados populacionais.

Assim, a determinação de um processo alternativo para elaboração de mapas acústicos faz-se necessária.

#### 3.4.1 Informação Geográfica Voluntária e *Crowdsourcing*

A participação de cidadãos privados e com pouca qualificação para a geração de informações geográficas trarão grandes impactos para os Sistemas de Informação Geográfica – SIG (GOODCHILD, 2007a). Goodchild (2007a) chama isto de *Volunteered Geographic Information* (VGI - Informação Geográfica Voluntária).

No artigo em que o termo VGI foi introduzido, Goodchild (2007a) descreve alguns exemplos práticos de sua aplicação:

- a) *Wikimapia*: aqui as pessoas podem adicionar descrições para um determinado local da superfície terrestre, sendo que todo usuário pode editar as entradas, enquanto que colaboradores voluntários checam a acurácia das informações acrescentadas;
- b) *Flickr site*: neste *website* os usuários podem adicionar, bem como localizar fotos na superfície terrestre tendo como base a latitude e a longitude;
- c) *MissPronouncer*: este fornece suporte aos usuários no que diz respeito à pronúncia de nomes de determinados locais localizados em Wisconsin.
- d) *OpenStreetMap*: consiste em uma fonte gratuita de dados mapeados, o que é alcançado por meio de ações voluntárias.

Tais conquistas foram possíveis como decorrência de uma série de fatores. Nos anos 2000, a possibilidade de pessoas adicionarem conteúdos a *websites* tinha avançado de tal modo que muitos desses sites eram formados quase que inteiramente por dados gerados pelo usuário. Em alguns casos era possível até mesmo que um usuário editasse dados escritos por outros. Como exemplos, têm-se os *Blogs* e *Wikis*. Esses sites correspondem ao que foi denominado *Web 2.0*. Nesse contexto, o crescente número de interações permitidas pela *web* foi um dos aspectos que permitiu o desenvolvimento de VGI. O segundo fator encontra-se no georreferenciamento. Para que o público pudesse colaborar com dados geográficos, fez-se necessário a disponibilidade de uma ferramenta que permitisse a identificação de coordenadas dos diversos lugares. O *Global Positioning System* (GPS), como exemplo, torna isso possível e conseqüentemente permitiu o uso de VGI. A terceira condição corresponde aos gráficos: até um tempo atrás, nem todos os computadores tinham a capacidade de gerar gráficos de alta qualidade. Por fim, a comunicação por banda larga foi fundamental, uma vez que a utilização de VGI seria inconcebível sem o acesso à *Internet* (GOODCHILD, 2007a).

As informações geográficas compartilhadas voluntariamente são de grande valor. Após o desenvolvimento de ferramentas como o *Google Earth* (2004) e o *Google Maps* (2006), a relação do público com instrumentos que permitam o posicionamento geográfico mudou: a atualização de mapas e o incremento de detalhes tornaram-se necessários. Conseqüentemente o uso de VGI passa a ser muito apropriado (DAVIS

JÚNIOR; VELLOZO; PINHEIRO, 2013). Além de ser uma alternativa barata e amplamente disponível, permite o acesso a informações de atividades em locais não muito divulgados pela mídia (GOODCHILD, 2007a). Embora os conhecimentos adquiridos de forma voluntária possam ser incompletos ou não acurados, eles podem também constituir a única fonte de dados em determinadas situações (DAVIS JÚNIOR; VELLOZO; PINHEIRO, 2013).

Para avaliar diferentes condições, existem três tipos de sensores. O primeiro corresponde a uma rede de sensores estáticos que detectam certas medições referentes ao ambiente que os circunda. O segundo consiste em sensores carregados por humanos, veículos ou animais (é o caso do estudo de asma feito através de sensores colocados em crianças). Por último, têm-se os seres humanos como sensores, e é neste caso que se enquadra o VGI (GOODCHILD, 2007a). Segundo Goodchild (2007b), os bilhões de indivíduos em constante movimento pelo planeta detêm uma enorme quantidade de conhecimento a respeito da superfície e das qualidades deste planeta. Embora algumas informações como uso da terra e classificação do solo exijam uma mão de obra especializada, existem outras formas de mapeamento que podem ser feitas através do VGI, como a determinação de nomes de diferentes locais, ruas, etc (GOODCHILD, 2007a).

Dentro das diversas atividades que compreendem a VGI, há um subconjunto que se encaixa na categoria *Citizen Science*, que corresponde à coleta e, em certos casos a análise, de dados por cientistas não profissionais. Vale observar que nem toda *Citizen Science* envolve trabalhos cujo elemento fundamental é a posição geográfica. Portanto, apenas nos casos de projetos geográficos desta categoria o elemento VGI está incluído. Assim, a chamada *Geographical Citizen Science*, que corresponde às atividades em que a coleta de informação referente à localização faz parte do projeto, está dentro do conceito de VGI (HAKLAY, 2013).

A forma mais recente de uma atividade classificada como *Citizen Science* é o *Participatory Sensing* (Sensoriamento Participativo), no qual, segundo Haklay (2013) e Kanhere (2011), celulares são utilizados para constatar fatores do meio ambiente. O que possibilita tal conquista é a existência de diferentes sensores inerentes aos celulares, como: *Wifi*, *Bluetooth*, receptores FM e GPS, câmera e microfone, sendo que

celulares podem ser conectados ainda a sensores externos (HAKLAY, 2013). Outra definição é dada por Becker (2013), o qual explica que o Sensoriamento Participativo pode envolver não somente a habilitação de indivíduos para a medição, documentação, visualização e compartilhamento dos dados de diferentes características do meio, mas também para a análise destes em alguns casos. Becker (2013) afirma, ainda, que nem todas as tecnologias envolvidas no Sensoriamento Participativo são classificadas como móveis; no entanto, o uso de *smartphones* como sensores permite um maior dimensionamento das atividades envolvidas neste conceito (BECKER, 2013).

O uso de Sensoriamento Participativo traz diferentes vantagens. Como ele parte do princípio da utilização de uma estrutura já existente (por meio de celulares), o custo de sua aplicação é aproximadamente zero. Considerando que os sensores são carregados pelos mais diversos locais, o resultado das medições terá uma grande abrangência, em termos de tempo e espaço, de um modo que eventos considerados inesperados poderão ser verificados. Adicionalmente, ao integrar os cidadãos no processo, os aplicativos a serem desenvolvidos nesta categoria darão a oportunidade de melhoria na vida das pessoas e das comunidades. Por fim, como as ferramentas usadas na criação de programas para celulares estão largamente disponíveis, e a disseminação destes programas pode ser feita facilmente nas lojas de aplicativos, o desenvolvimento desta tecnologia é facilitado (KANHERE, 2011).

Dentro dos projetos da *Citizen Science*, existem diferentes níveis de participação. No nível mais básico, a participação do usuário compreende apenas o fornecimento de recursos, de modo que o envolvimento cognitivo é mínimo. A isto se dá o nome de *crowdsourcing*. (HOWE, 2006). Neste contexto, um aspecto negativo do *crowdsourcing* está na não utilização na capacidade cognitiva dos participantes (HAKLAY, 2013). A idéia de *crowdsourcing* é aplicada pelo que é denominado *Citizen as Sensors* (GOODCHILD, 2007a) e permite o aumento no grau de granularidade espaço-temporal (D'HONDT; STEVENS, 2010).

#### 3.4.2 *Smartphones* como sensores ambientais

O uso de técnicas de estado da arte na elaboração de mapas de ruído é caro, e a atualização de mapas gerados desta forma não são feitas com frequência, podendo levar de meses a anos para ocorrer. Isso devido ao fato de que tais técnicas dependem de modelos de população e tráfego ao invés de dados reais (RANA et al, 2013). O uso de *smartphones* surge como uma alternativa não custosa para elaboração e atualização de mapas de ruído (RANA et al, 2013). Aqui, os sensores seriam levados pelos usuários para variados locais, ao invés de ficar em uma posição estática, de modo que áreas maiores seriam cobertas e por um período de tempo significativamente maior (MAISONNEUVE et al., 2009).

De acordo com Murphy e King (2015), o uso de *smartphones* pode beneficiar a avaliação de sons em diversos ambientes, mas uma de suas vantagens específicas está em permitir a participação de cidadãos no monitoramento de ruídos nos seus locais de moradia e trabalho. Sua aplicação contribui, assim, para a democratização dos processos de monitoramento ambiental (STEVENS; D'HONDT, 2010). O público poderia obter dados, sem precisar esperar pela manifestação de empresas oficiais (MAISONNEUVE et al., 2009).

Como toda metodologia, o uso de *smartphones* também apresenta desvantagens. Como as medições estão atreladas a voluntários, seus resultados irão variar conforme a hora e o local escolhidos por cada indivíduo. Os usuários podem também optar por coletar dados de ruídos apenas quando os telefones tiverem bateria o suficiente, o que poderia resultar em dados esparsos e incompletos (RANA et al, 2013). Para a obtenção de resultados mais acurados, a posição do aparelho é importante; entretanto, existe a possibilidade de as pessoas realizarem medições com os celulares dentro das bolsas, prejudicando assim os dados adquiridos. Os voluntários podem, ainda, dar preferência às demais atividades ofertados pelos celulares (KANHERE, 2011).

No que diz respeito aos desafios enfrentados por esta nova metodologia, encontram-se questões como preservação da privacidade, motivação para participação nos estudos, e conservação de energia do celular (KANHERE, 2011). Um estudo desenvolvido por Kanjo (2009), que propôs a utilização de um *software* intitulado *NoiseSpy*, mostrou que as tecnologias do celular que mais consomem bateria são a

comunicação por *Bluetooth*, a tela, os dados do sensor de processamento e rádios GPRS. Frente aos desafios mencionados, algumas soluções vêm sendo propostas, a depender do *software*. Por exemplo, no quesito privacidade, uma opção seria deixar disponível ao usuário a possibilidade de escolha entre compartilhar, ou não, tudo, ou uma parte, de suas medidas (MAISONNEUVE et al., 2009).

Diferentes estudos já foram realizados visando analisar a utilização de *smartphones* na avaliação de ruídos ambientais, bem como aplica-los com diferentes objetivos. Alguns casos são apresentados a seguir.

Kardous e Shaw (2015) selecionaram uma amostra representativa de *smartphones* e *tablets* populares no mercado de janeiro de 2013, e diferentes aplicativos para *smartphones* (escolhidos com base no critério de relevância ocupacional). Neste estudo, os aparelhos usados para teste não foram calibrados, pois a ideia era simular o caso de um suposto usuário típico que não pudesse ter acesso a uma fonte de som calibrada. No total, 10 *apps* de iOS e 4 *apps* de *Android* foram testados, sendo apenas dois não-comerciais (*Noise Exposure/Buller* e *Noise Watch*). Os autores concluíram que, no caso de medições de níveis de ruído ponderadas pela curva A, o aplicativo mais adequado para ser usado com fins ocupacionais e gerais seria o *SoundMeter* (KARDOUS; SHAW, 2015).

Rana et al. (2013) apresentou a implementação de um aplicativo de elaboração de mapas de ruídos determinado *Ear-Phone*, ao passo em que Maisonneuve et al (2009) apresentou o *NoiseTube*, e Kanjo (2009) aplicou e avaliou o *NoiseSpy* (ambos *apps* usados para mapeamentos acústicos).

Martí et al. (2012) demonstraram a aplicação de dois protótipos (*NoiseBattle* e *NoiseQuest*) de coleta de dados de poluição sonora, os quais foram baseados em *crowdsourcing* e utilizaram técnicas de jogos com a finalidade de encorajar as pessoas a usarem seus smartphones para obtenção de dados de ruídos necessários ao mapeamento.

Um estudo comparativo desenvolvido por Martí et al. (2014), entre dados resultantes de *crowdsourcing* e dados obtidos por uma empresa profissional, concluiu que as medidas individuais feitas por cada voluntário não foram muito confiáveis. No entanto, os resultados da combinação dos diferentes mapas elaborados através de

diferentes aparelhos foram aceitáveis. Os mapas obtidos através do *crowdsourcing* e através dos dados profissionais tiveram uma aparência similar, com a mesma tendência de aumento e diminuição de ruídos nas mesmas áreas. Por fim, o estudo determinou que, levando em consideração que a faixa de valores obtidos com o equipamento profissional foi de 50db a 63 db e que a faixa equivalente obtida com aparelhos celulares foi de 52db a 65 db, o monitoramento de ruído através de celulares está mostrando resultados promissores (MARTÍ et al., 2014).

Maisonneuve, Stevens e Steels (2009) provaram que o uso de celulares tem como resultado dados com poucos decibéis de diferença dos resultados de aparelhos profissionais.

Pereira (2013) avaliou o desempenho do aplicativo desenvolvido para *smartphones* denominado *NoiseTube* em diversos ambientes acústicos, dentre os quais ambientes exteriores cuja poluição sonora é gerada pelos tráfegos rodoviário, ferroviário e aéreo. Para tanto, comparou os resultados obtidos através do celular com valores adquiridos por meio do sonômetro da marca Brüel e Kjær, modelo 2260 *Investigator*. Neste estudo, concluiu-se que embora sensores incluídos em smartphones sejam de fato menos precisos que os embutidos em equipamentos profissionais, os resultados da aplicação do *NoiseTube* permitiram uma boa caracterização acústica do local estudado, levando a resultados que em muitas vezes apresentavam diferenças inferiores a 4dB(A) com relação aos valores do sonômetro (PEREIRA, 2013).

Todos estes exemplos ilustram a atualidade e relevância das aplicações de VGI e *crowdsourcing* por meio do uso de *smartphones* em situações variadas.

### 3.5 ÁREA DE ESTUDO

Curitiba, capital do estado do Paraná, encontra-se localizada na região sul do Brasil, com uma população de 1.751.907 habitantes (IBGE, 2010). Uma das características marcantes da cidade é a Rede Integrada de Transporte Coletivo (RIT), que por meio dos chamados terminais de ônibus permite que os cidadãos desembarquem de uma linha e embarquem em outra, com o pagamento de uma tarifa única. A regulação, o gerenciamento, a operação, o planejamento e a fiscalização do

sistema cabem a URBS - Urbanização de Curitiba S.A, conforme estabelecido pela Lei 12.597/2008 (URBS, 2016a).

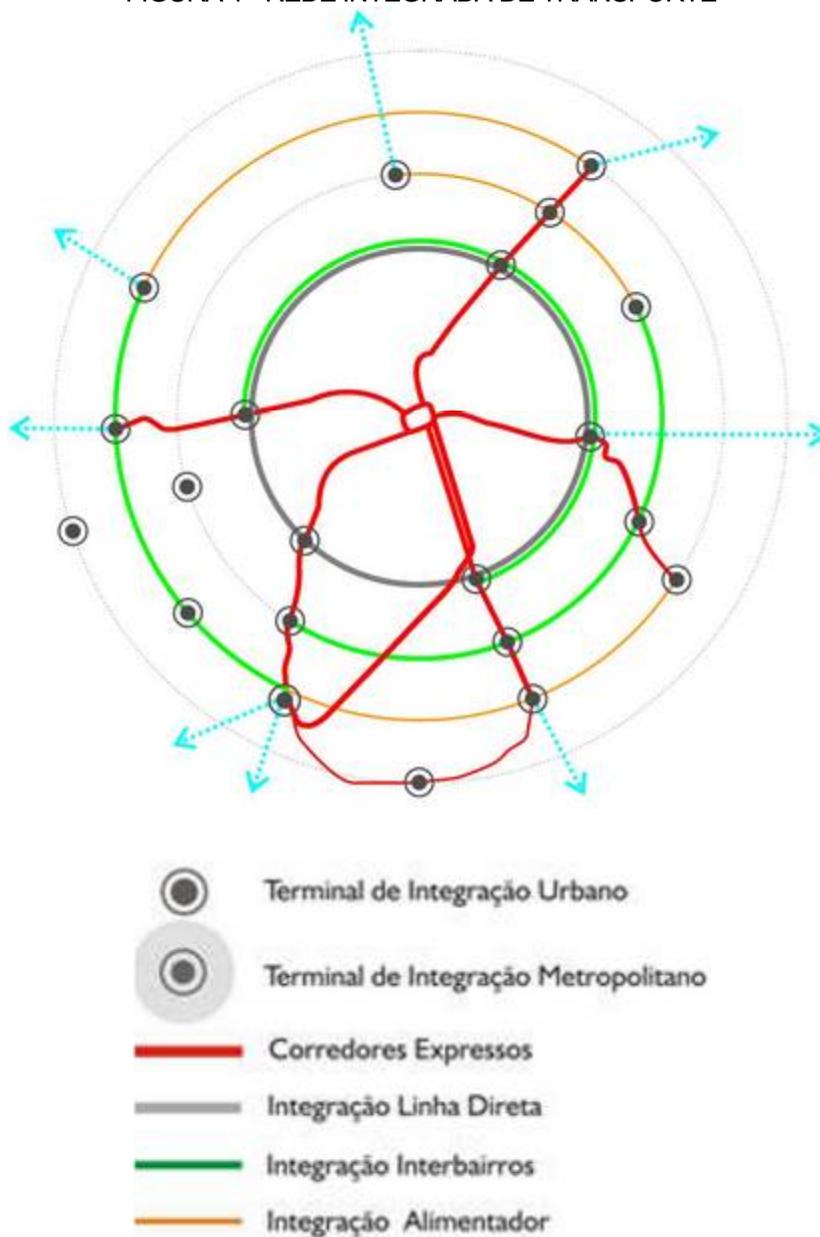
A RIT é utilizada, além da capital, por 13 dos 29 municípios da Região Metropolitana de Curitiba - RMC, cujo planejamento e gestão do desenvolvimento integrado são responsabilidades da Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba (COMEC), criada em 1974 pelo governo do Estado do Paraná (URBS, 2016a, COMEC, 2016). Tais municípios são: Campo Magro, Campo Largo, Araucária, Fazenda Rio Grande, São José dos Pinhais, Pinhais, Colombo, Rio Branco do Sul, Itaperuçu, Piraquara, Bocaiúva do Sul, Almirante Tamandaré e Contenda (NETO, 2013).

Vale observar que a partir de fevereiro de 2016 as tarifas de ônibus sofreram um aumento. Conforme Roberto Gregório, presidente da URBS, a justificativa para esta alteração está no “equilíbrio financeiro do sistema”. Em Curitiba, a tarifa subiu para R\$ 3,70 (aumento de 12% com relação ao valor anterior). Para os passageiros vindos da RMC para Curitiba, quatro diferentes valores foram estabelecidos. Para quem sai de Campo Magro, Campo Largo, Araucária e Pinhais com destino à capital, a tarifa passou para R\$ 3,70. Para os que partem de São José dos Pinhais, Almirante Tamandaré e Colombo, o valor atual é de R\$3,80. No caso de quem vem para Curitiba a partir de Piraquara e Fazenda Rio Grande, a passagem custa R\$ 3,90. Por fim, os passageiros que saem de Bocaiuva do Sul, Contenda, Itaperuçu e Rio Branco do Sul passaram a pagar R\$ 4,70. Assim, a integração de transporte entre a RMC e Curitiba não foi alterada, de modo que os usuários que vêm dos municípios da RMC que fazem parte da RIT não precisam pagar nova tarifa para se integrar as outras linhas da rede. Quanto ao preço do caminho de volta para RMC, vale o valor da capital (R\$ 3,70). No caso das linhas não integradas ao sistema, os valores dependerão de cada percurso (G1 PR, 2016).

O sistema de transporte de Curitiba, por apresentar vias exclusivas para ônibus, foi o berço para o *Bus Rapid Transit* – BRT (NETO, 2013). No total, são 83 quilômetros de canaletas exclusivas, formando os corredores de transporte (URBS, 2016a). A união corredor-terminais corresponde ao sistema tronco-alimentador. Além dos 29 terminais, a RIT conta com 351 estações-tubo. Ao pagar para entrar nessas estações, o passageiro pode utilizar de qualquer um dos ônibus que tenham a parada na estação no seu trajeto (NETO, 2013). Em cinco dos terminais localizados em Curitiba, encontra-se a Rua da

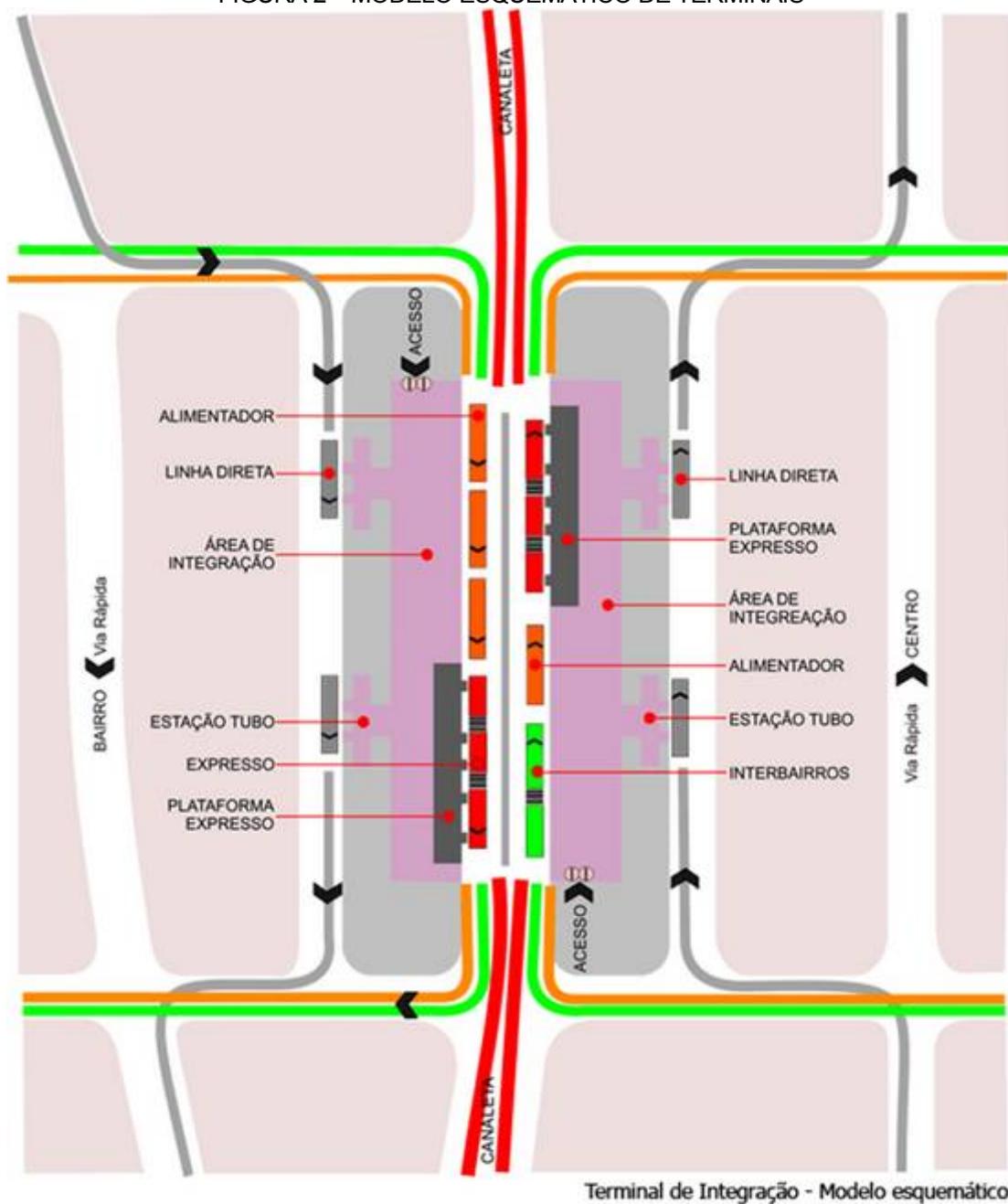
Cidadania, que disponibiliza variados serviços ao cidadão, como emissão de documentos, pagamentos de impostos de demais (LIMA, 2015). Um esquema da RIT pode ser observado na Figura 1 e um modelo esquemático de terminais encontra-se na Figura 2 (URBS, 2016a).

FIGURA 1 - REDE INTEGRADA DE TRANSPORTE



FONTE: URBS (2016a)

FIGURA 2 – MODELO ESQUEMÁTICO DE TERMINAIS



FONTE: URBS (2016)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATERIAIS

Para a concretização do presente projeto, inicialmente foi necessária a utilização do *software Google Earth* para análise prévia de Curitiba e Região Metropolitana e determinação dos equipamentos urbanos a serem incluídos na área de estudo. Uma vez nomeados os terminais de transporte, o uso combinado do *software* livre QGIS 2.14.3 e do mapa disponibilizado pelo projeto de dados abertos *OpenStreetMap* permitiu a elaboração do desenho de possíveis trajetos com o objetivo de guiar a atividade de campo a ser desenvolvida.

As medições de níveis de ruído foram realizadas por meio do *software* livre descrito em 4.2.1 instalado em um *smartphone Android*. Os dados obtidos e disponibilizados em formato KML foram então interpolados através do QGIS 2.14.3 para elaboração dos mapas acústicos.

Tanto para a caracterização da área de estudo quanto para a etapa de análise final de poluição sonora, são relevantes os dados referentes ao zoneamento dos setores afetados. Os mapas pertinentes ao assunto são disponibilizados pelo Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, pela Prefeitura Municipal de Fazenda Rio Grande e pela Prefeitura de Pinhais. Nesse contexto, os *softwares* QGIS 2.14.3 e *Google Earth* foram usados novamente para a delimitação das Zonas de Silêncio, definidas nos itens 3.2.3 e 3.2.4.

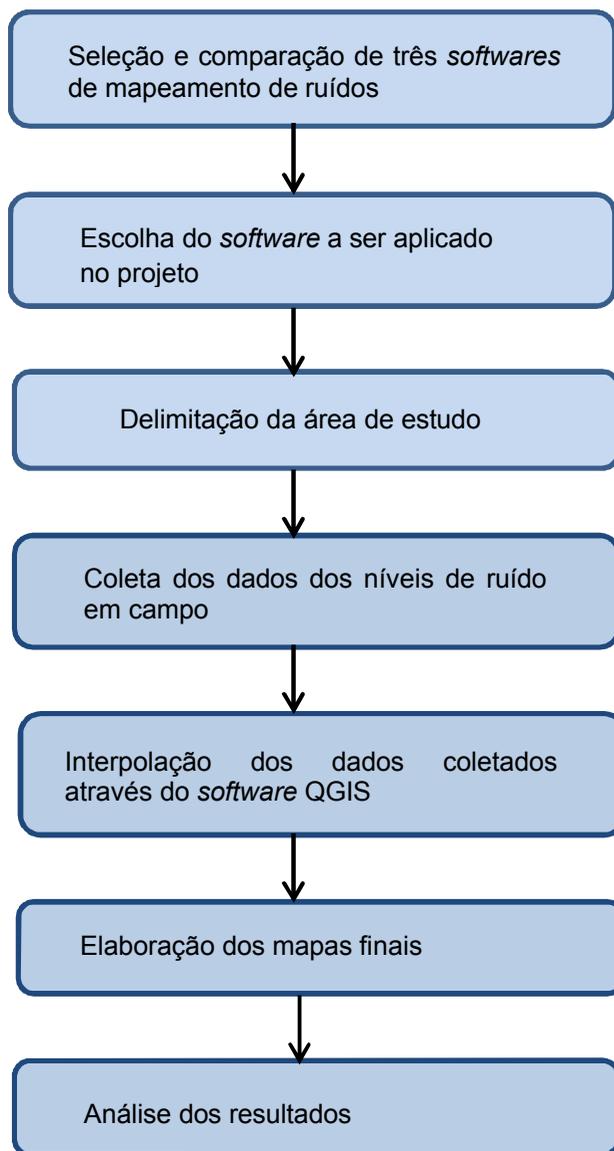
#### 4.1.1 *Software* QGIS 2.14.3

QGIS é um *software* livre de código aberto usado em aplicações de SIG. Ele permite que informações relacionadas a uma posição geográfica da superfície terrestre sejam, dentre outros, criadas, trabalhadas e analisadas. Sua utilização é possível nos sistemas *Windows, Mac, Linux, BSD e Android* (QGIS, 2016).

## 4.2 MÉTODOS

As etapas que compreendem os métodos usados neste projeto podem ser observadas no esquema da Figura 5.

FIGURA 3 – ETAPAS DA METODOLOGIA



FONTE: A autora (2016)

#### 4.2.1 Escolha do *software* para mapeamento acústico

Para a geração de mapas acústicos neste projeto, optou-se pela utilização de *smartphones* como sensores ambientais; método este que se enquadra no conceito de VGI e *Participatory Sensing*. Assim, a primeira etapa envolveu a pesquisa das opções que poderiam ser encontradas na *Google Play Store* de um celular com a plataforma *Android*. Os termos utilizados na busca incluíram: mapa de ruído, mapeamento de ruído, *noise mapping*, mapeamento sonoro e ruídos. Como resultado, foram selecionados três aplicativos que permitiriam a futura elaboração de mapas sonoros: *SoundCity*, *NoiseMap*, e *NoiseTube*. Um resumo das informações relevantes referentes a estes aplicativos pode ser encontrada no Quadro 2.

QUADRO 2 – QUADRO COMPARATIVO: *SOUNDCITY*, *NOISEMAP*, *NOISETUBE*

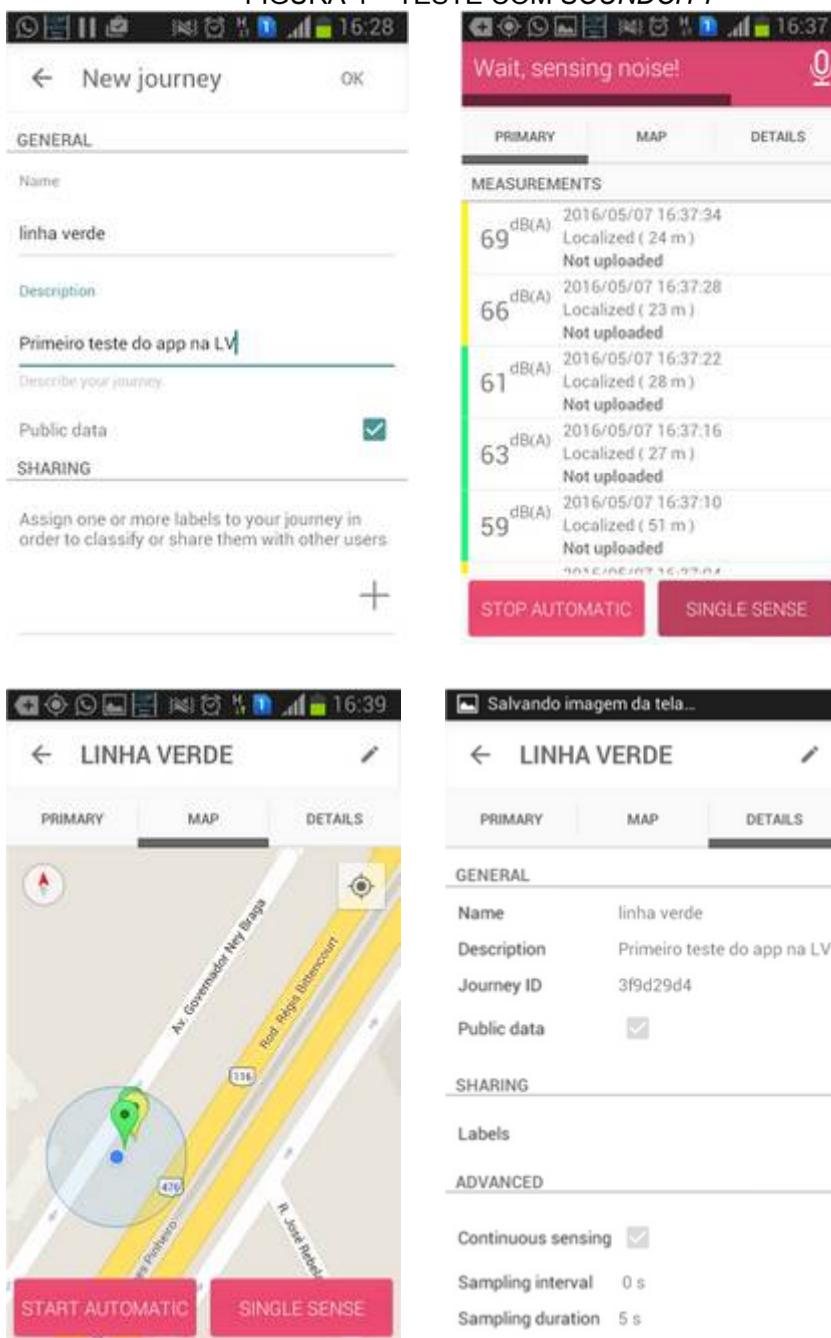
Aplicativo	Características Gerais
<p><i>SoundCity</i> (<i>AMBIENTIC.</i>) (2015)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Intensidade do som medida em dB(A)</li> <li>* Disponibilização dos dados ao público a critério do usuário</li> <li>* Permite calibração</li> <li>* Geração de gráficos de exposição ao ruído (mensais, diários e por hora)</li> <li>* Modo <i>Journey</i>: exposição ao ruído em um trajeto específico</li> <li>* Quando no modo de medição automática de ruído, há a opção de economia de energia</li> <li>* Se um som for identificado como "alto" pelo <i>software</i>, será dada a opção de o usuário identificar a fonte</li> <li>* No website <a href="http://www.soundcity.mobi/">http://www.soundcity.mobi/</a> podem ser encontrados:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Gráficos de porcentagem de ruídos</li> <li>b) Relação de medidas com posição geográfica em um mapa</li> <li>c) Visualização das contribuições de demais usuários</li> </ol> </li> </ul>
<p><i>Noisemap</i> (<i>TU Darmstadt - Telecooperation</i>)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Amostras coletadas são transformadas para <math>L_{eq}</math> sem ponderação para curva A</li> <li>* Disponibilização dos dados ao público a critério do usuário</li> <li>* Permite calibração</li> <li>* Apresenta quadro-resumo das informações calculadas</li> <li>* Medições de ruídos são enviadas para a plataforma aberta denominada <i>da_sense</i> (<a href="http://www.da-sende.de">www.da-sende.de</a>), a qual permite:               <ol style="list-style-type: none"> <li>a) Elaboração de mapas acústicos</li> <li>b) Geração de gráficos de ruídos</li> <li>c) Visualização das contribuições dos demais usuários</li> </ol> </li> </ul>

<p style="text-align: center;"><i>NoiseTube</i> (<i>Software Languages Lab</i>) (2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Nível sonoro medido em dB(A) para <math>L_{eq}</math></li> <li>* Disponibilização dos dados ao público a critério do usuário</li> <li>* <i>Software</i> calibrado para diferentes modelos de <i>smartphones</i></li> <li>* Valor de <math>L_{eq}</math> atualizado a cada 1-2 segundos durante as medições</li> <li>* Apresenta histograma das medições de ruído</li> <li>* Ferramenta <i>Tag</i>: permite que informações como nível de irritação e fonte do ruído sejam adicionados</li> <li>* No website <i>noisetube.net</i>, é possível: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Visualizar as medições em um mapa em arquivo KML</li> <li>b) Acessar um quadro resumo das medidas realizadas em campo</li> <li>c) Obter o histograma completo dos dados</li> <li>d) Observar as contribuições de diversos usuários</li> </ul> </li> </ul> <p>a), b), c): no perfil pessoal do usuário chamado Elog</p>
--	---

FONTE: A autora (2016). Com dados de Urban Civics (2016), SoundCity (2016), SCHWEIZER et al (2011), NoiseTube...(2015a), Noisetube...(2015b).

Com o objetivo de determinar qual dos *softwares* seria efetivamente aplicado na presente pesquisa, simulações foram feitas na Linha Verde, antiga BR-116, em Curitiba. No caso do aplicativo *SoundCity*, foi escolhida a opção *Journey*, para que as medições fossem realizadas em um trajeto específico. Os passos envolvidos neste teste podem ser observados na Figura 4. Como ilustra o mapa desta figura, apenas um número limitado de níveis sonoros teve sua medição associada a uma posição geográfica. Portanto, considerando que o objetivo aqui é gerar um mapa de ruídos para uma região, os resultados obtidos com este aplicativo não seriam suficientes.

FIGURA 4 – TESTE COM SOUNDCITY

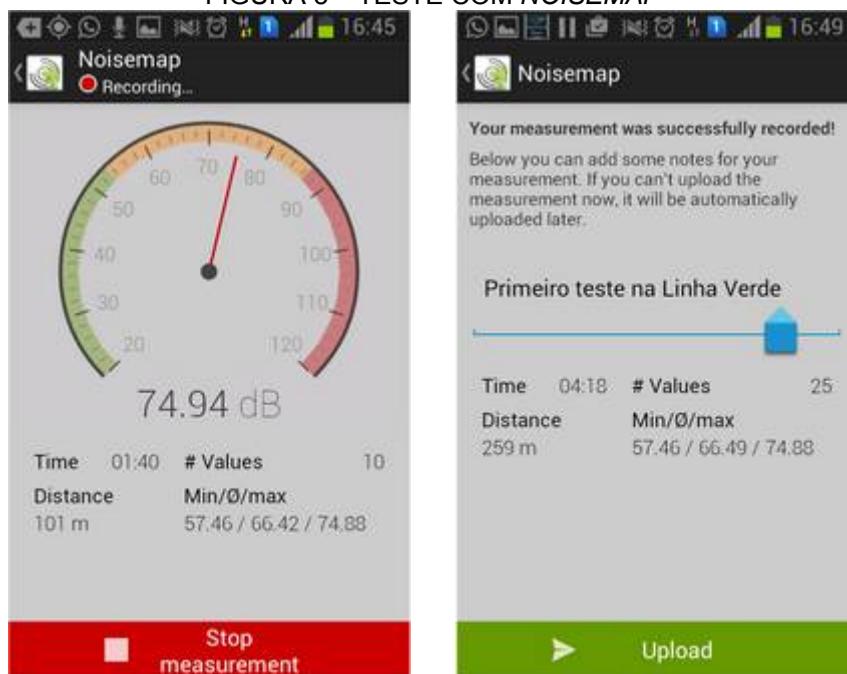


FONTE: A autora (2016).

A segunda opção seria utilizar o *software* alemão *Noisemap*, cuja aplicação está ilustrada na Figura 5. Embora a mensagem que apareceu após as medições indique que estas seriam enviadas à plataforma *da\_sense*, quando o item *Upload* foi selecionado ocorreu um erro. Assim, não foi possível ter acesso aos resultados e ao

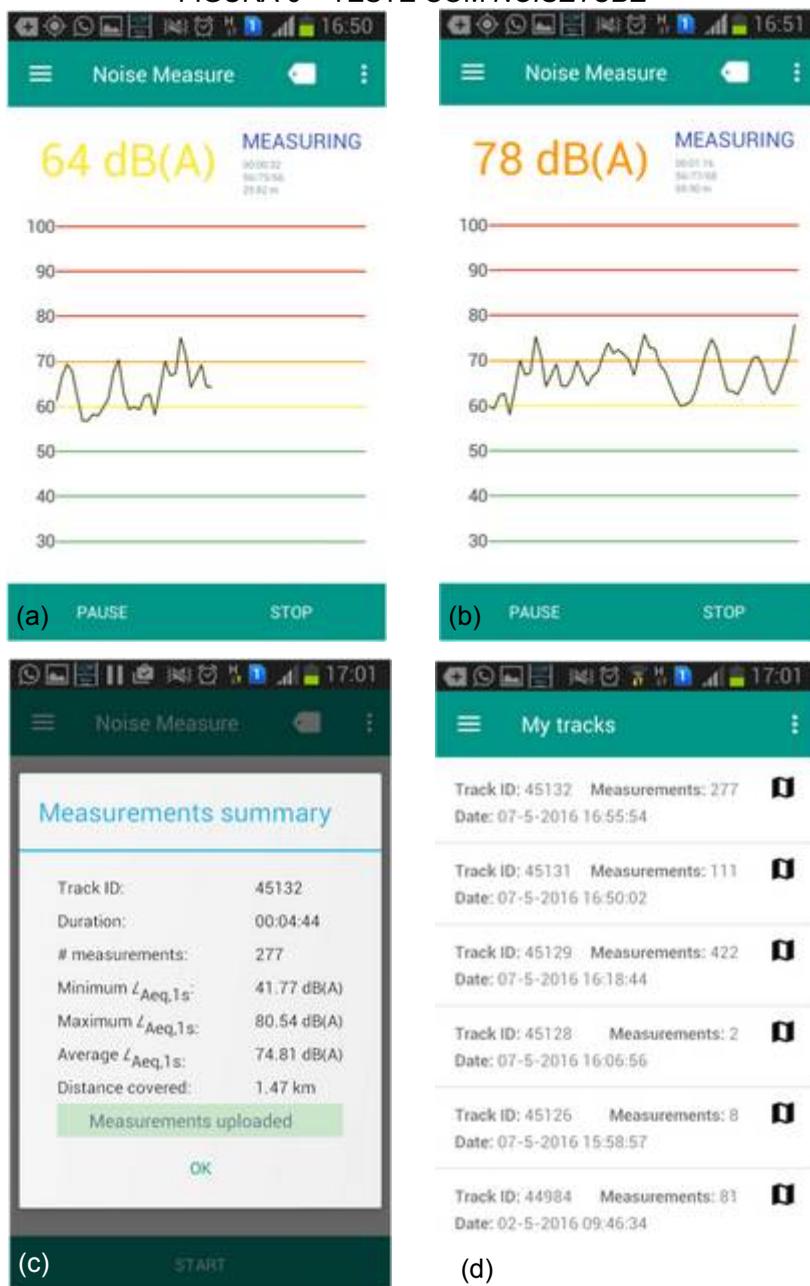
mapa na página do usuário e, conseqüentemente, a opção do *Noisemap* não será viável.

FIGURA 5 – TESTE COM *NOISEMAP*



FONTE: A autora (2016).

Por fim, foi testado o *NoiseTube*. As etapas das medições encontram-se na Figura 6. As letras a) e b) são ilustrações do período em que o aplicativo estava medindo os níveis de ruído; a letra c) representa o quadro-resumo das informações que aparecem ao final do procedimento; e a letra d) mostra os diferentes caminhos já percorridos com uso deste *software*.

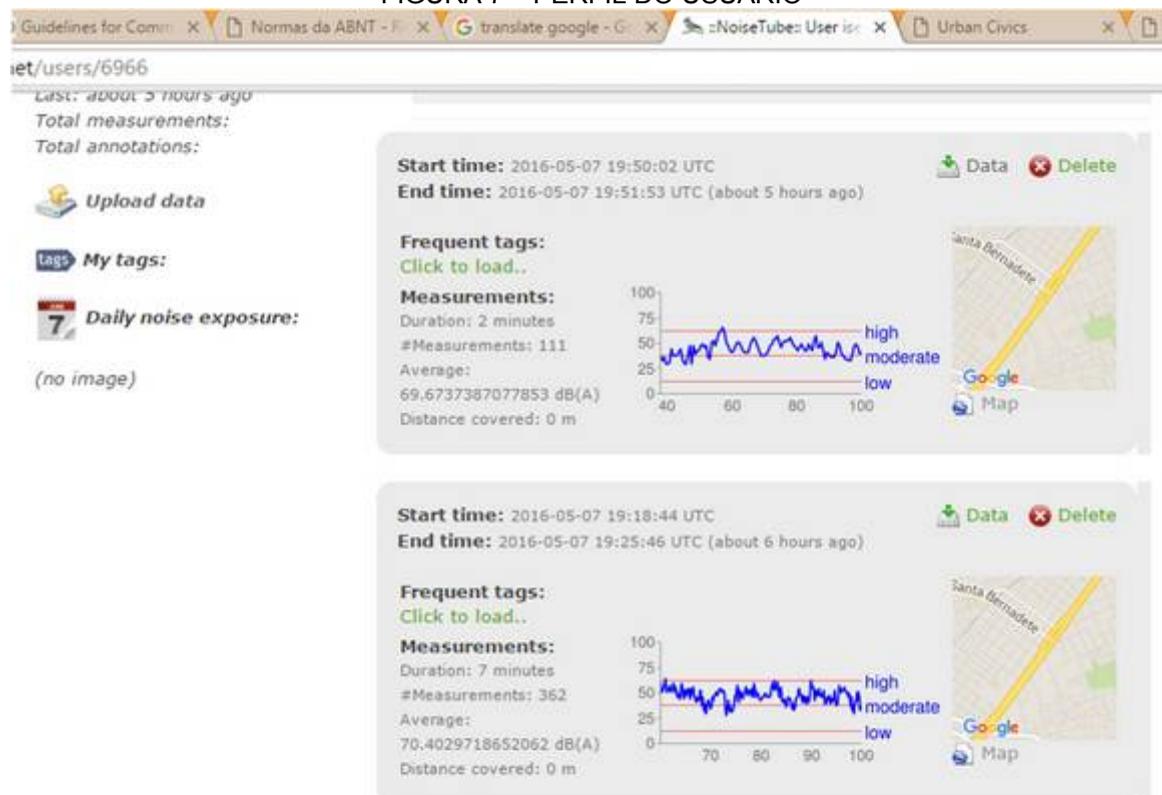
FIGURA 6 – TESTE COM *NOISETUBE*

FONTE: A autora (2016).

Os resultados obtidos com a aplicação do *NoiseTube* podem ser acessados por meio do perfil pessoal do usuário no *website* do aplicativo, o que está ilustrado na Figura 7. O fato de este aplicativo gerar um arquivo KML com todas as medições é especialmente útil, por permitir sua utilização em outros *softwares* de SIG. Considerando ainda que diferentes estudos já foram conduzidos com o *NoiseTube*

(STEVENS; D'HONDT, 2010; MAISONNEUVE et al, 2009; D'HONDT; STEVENS; JACOBS, 2012, PEREIRA, 2013) e que este *software* foi usado para provar que a técnica de Sensoriamento Participativo para mapeamento acústico funciona, sob condição de seja realizada de maneira adequada (D'HONDT; STEVENS; JACOBS, 2012), este aplicativo é o que foi utilizado no presente estudo.

FIGURA 7 – PERFIL DO USUÁRIO

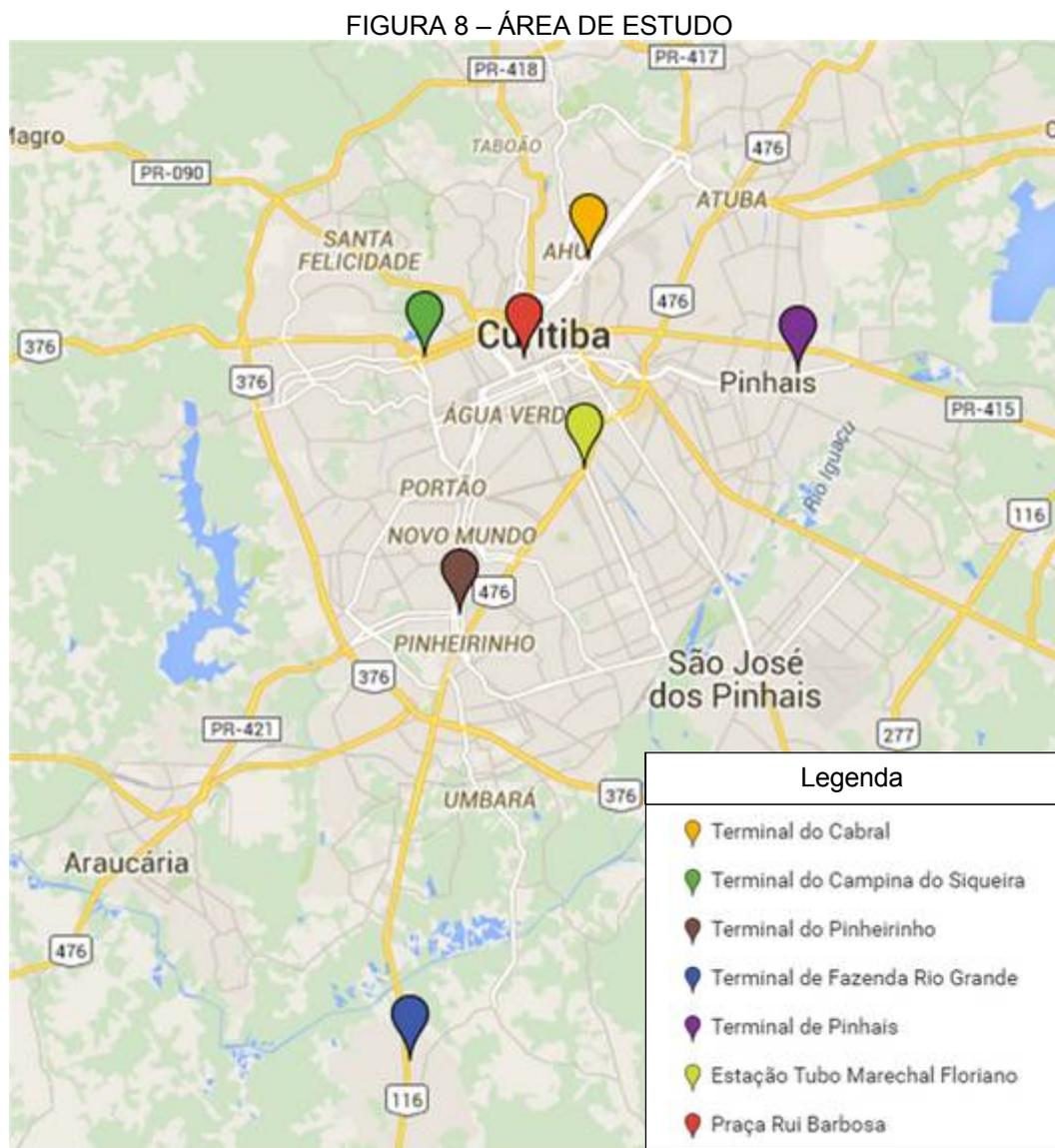


FONTE: A autora, 2016.

#### 4.2.2 Delimitação da área de estudo

LIMA [2015] avaliou diversas características, como fatores socioambientais e funcionais, do entorno de quatro terminais localizados em Curitiba, sob a perspectiva do desenho urbano. Considerando a demanda enfrentada pela RIT, que chega a 2 milhões de viagens por dia útil de acordo com Neto (2013), e portanto sua relevância para RMC; bem como partindo da ideia presente no trabalho de LIMA [2015], a área de estudo delimitada para o presente projeto compreende: cinco terminais de ônibus integrantes

deste sistema, a saber: Campina do Siqueira, Pinhais, Fazenda Rio Grande, Pinheirinho e Cabral; a Praça Rui Barbosa; e uma estação tubo (Estação Tubo Marechal Floriano), os quais são indicados no mapa da Figura 4.



FONTE: A autora (2016). Com dados do *Google My Maps* (2016).

A escolha destes terminais se deu com base na movimentação dos mesmos, nas localizações estratégicas perante a cidade, e no posicionamento deles com relação a estabelecimentos mais sensíveis a ruídos, como hospitais e escolas. O Quadro 3 apresenta alguns dos fatos que caracterizam esses elementos urbanos.

QUADRO 3 – CARACTERIZAÇÃO DE EQUIPAMENTOS URBANOS DA RMC

Terminal	Localização	Número de linhas atendidas	Zoneamento da área no entorno
Cabral	Av. Paraná - esquina com rua Chichorro Júnior Curitiba/ PR	17	SE, ZR-4, Zona de Silêncio
Campina do Siqueira	Rua Pe. Anchieta - esquina com rua Gen. Mário Tourinho Curitiba/ PR	16	SE, ZR-4, ZR-3, SE-NC, ZT-NC, Zona de Silêncio
Pinheirinho	Av. Winston Churchill - esquina com rua João Rodrigues Pinheiro Curitiba/ PR	42	ZR-4, SE, CONEC-1, Pólo – LV, SE-LV, Zona de Silêncio
Tubo Marechal Floriano	Linha Verde Curitiba/ PR	4	Pólo – LV, SE-LV
Praça Rui Barbosa	Praça Rui Barbosa - esquina com a rua Des. Westphalen Curitiba/ PR	56	ZC, SE, Zona de Silêncio
Fazenda Rio Grande	Av. das Américas – esquina com av. Araucárias Fazenda Rio Grande/PR	18	ZC, ZCS Zona de Silêncio
Pinhais	Rua Europa - esquina com rua América do Sul Pinhais/PR	28	SEC, ZC, ZRO, Zona de Silêncio

FONTE: A autora (2016). Com dados do *Google Maps* (2016), URBS (2016b), Terminais... (2016), Curitiba (2015b), Pinhais (2011b), Fazenda Rio Grande (2013b).

Vale observar que, embora a última revisão do Plano Diretor de Curitiba tenha sido realizada entre 2014 e 2015, a adequação da Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo, que é diretamente relacionada ao plano, ainda está em processo de análise pelos especialistas do IPPUC (PMC, 2016). O mapa consolidado e atualizado do novo zoneamento da cidade, no entanto, já foi disponibilizado pelo IPPUC em seu endereço eletrônico (CURITIBA, 2015b). No caso de Curitiba, o zoneamento, uso e ocupação do solo são regulamentados pela lei municipal nº 9.800/2000 (CURITIBA, 2000), sendo que dentro da área da Delimitação de Operação Urbana Consorciada Linha Verde, na qual se encontra, por exemplo, a Estação Tubo Marechal Floriano e uma parte do entorno no Terminal do Pinheirinho, devem ser observados os setores definidos pela lei nº 13.909/ 2011 (CURITIBA, 2011). Para o caso do município de Pinhais, a legislação em vigor é a de número 1.233, de 2011 (PINHAIS, 2011a). Por fim, para Fazenda Rio Grande, observam-se as Lei Complementares nº6/2006,

nº80/2013 e alterações (FAZENDA RIO GRANDE, 2006; FAZENDA RIO GRANDE, 2013a).

As Zonas de Silêncio indicadas no Quadro 3 foram definidas com base nas Leis nº 10.625/02 de Curitiba, nº 220/97 de Pinhais e nº 861/11 de Fazenda Rio Grande, e são delimitadas por um raio de 200 metros ao redor de escolas, hospitais, hotéis e outros (CURITIBA, 2002; PINHAIS, 1997; FAZENDA RIO GRANDE, 2011). A sobreposição das áreas de influência dos objetos de estudo desta pesquisa com a região denominada Zona de Silêncio foi observada através da identificação de estabelecimentos sensíveis ao ruído pelo *Google My Maps* (2016).

As demais zonas podem ser definidas como segue.

- a) SE (Setores Especiais Estruturais): compreendem os principais eixos de crescimento de Curitiba, incluindo corredores comerciais, de serviços e de transportes (CURITIBA, 2000).
- b) ZR (Zonas Residenciais): As Zonas Residenciais Três (ZR-3) e Quatro (ZR-4) incluídas na área de estudo da presente pesquisa fazem parte desta categoria (CURITIBA, 2000).
- c) SE-NC (Setor Especial Nova Curitiba): ocorre no prolongamento do Setor Estrutural Norte e caracteriza-se por ser um eixo de desenvolvimento urbano com ocupação mista (CURITIBA, 2000).
- d) ZT-NC (Zona de Transição Nova Curitiba): as Zonas de Transição representam áreas que fazem divisa com zoneamentos conflitantes (CURITIBA, 2000).
- e) CONEC-1: os Setores Especiais Conectores – CONEC fazem a ligação entre o Setor Especial Estrutural e a Cidade Industrial de Curitiba. São eixos de ocupação mista e com média densidade habitacional (CURITIBA, 2000).
- f) ZC (Zona Central): corresponde ao centro tradicional da cidade e conta com um número significativo de atividades setoriais (CURITIBA, 2000).
- g) Pólo – LV (Pólo da Linha Verde): setor no qual ocorre ocupação de média e alta densidade, com foco voltado para adensamento, verticalização, uso comercial e de serviço, e com construções com altura livre (CURITIBA, 2011).

- h) SE – LV (Setor Especial da Linha Verde): setor que se localiza entre os pólos na extensão da Linha Verde com foco voltado para ocupação de média e alta densidade, verticalização, uso residencial e construções com altura livre (CURITIBA, 2011).
- i) ZC (Zona Central): área cujos objetivos incluem a otimização da infraestrutura, o crescimento em altura da região, e o reconhecimento como centro comercial e de prestação de serviços (FAZENDA RIO GRANDE, 2013a).
- j) ZCS (Zona Comercial e de Serviços): lotes cuja ocupação preste serviços especializados ou envolva atividades industriais com baixo risco de poluição ao meio ambiente (FAZENDA, RIO GRANDE, 2013a).
- k) SEC (Setor Especial Central): setor com a finalidade de intensificar a ocupação da região e permitir aplicação de projetos urbanos diferenciados (PINHAIS, 2011).
- l) ZC (Zona Central): região cujos propósitos incluem a otimização da infraestrutura, a verticalização dos edifícios, e a compatibilização entre diferentes usos do setor (PINHAIS, 2011).
- m) ZRO (Zona de Restrição à Ocupação): aquela cujo foco está na preservação e conservação ambiental (PINHAIS, 2011).

#### 4.2.3 Medições em campo

Os horários de pico para o transporte público de Curitiba vão das 05h00 às 09h00 e das 17h00 às 20h00 (CBN Curitiba, 2016). Conforme orientação recebida, via e-mail, de Silvia Mara dos Santos Ramos - coordenadora da Unidade de Relações Institucionais da URBS, para fins acadêmicos pode-se considerar que as maiores concentrações de demanda ocorrem pela manhã, entre 07h00 e 8h00 (RAMOS, 2016). Quanto aos municípios de Pinhais e Fazenda Rio Grande, como não foi obtida resposta dos responsáveis no que diz respeito aos períodos de maior uso dos terminais, optou-se por seguir a recomendação dada para o caso de Curitiba. Assim, todas as medições do presente projeto foram realizadas a partir das 07h00, a fim de avaliar o uso de

*Smartphones* como sensores de ruídos no período de maior movimentação, e portanto mais relevante aos equipamentos urbanos em questão. Devido às longas distâncias caminhadas, em alguns casos foi necessário seguir até 08h30.

É importante mencionar novamente que, a depender do horário, os limites aceitáveis para ruídos diferem, conforme a Lei Municipal nº 10.625/2002 de Curitiba, a Lei nº 220/1997 de Pinhais, e a Lei nº 861/2011 de Fazenda Rio Grande. O período diurno é considerado das 07h01 as 19h00; o período vespertino, das 19h01 as 22h00; e o período noturno, das 22h01 as 07h00 (CURITIBA, 2002; PINHAIS, 1997; FAZENDA RIO GRANDE, 2011).

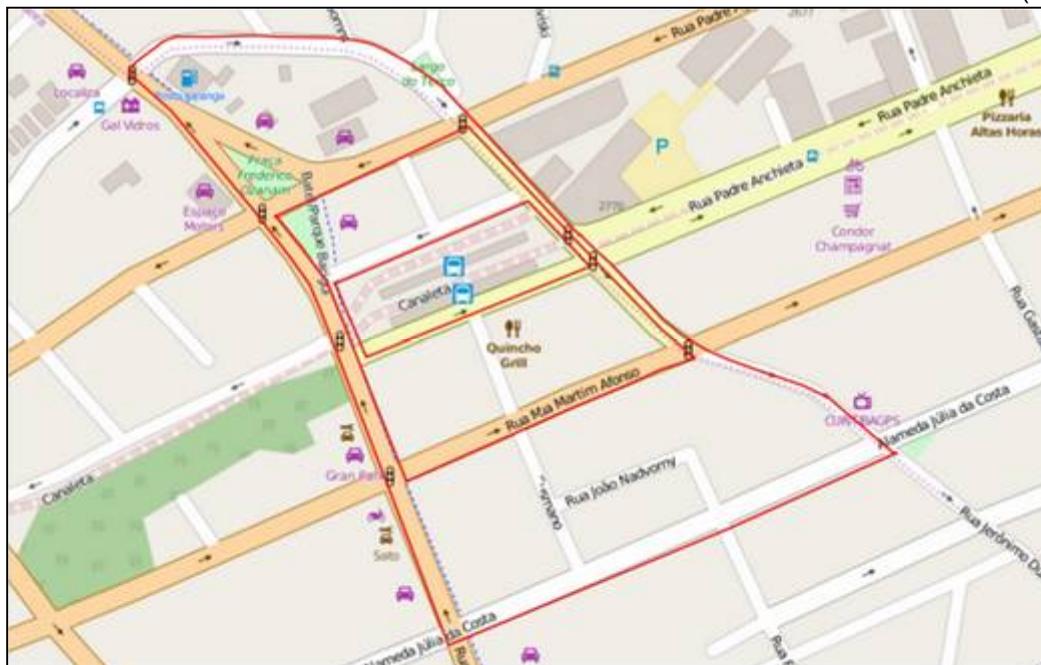
Seguem nas Figuras 9 a 15 os caminhos percorridos nas regiões que circundam os terminais para fins de medição dos níveis de ruído. Conforme explicado anteriormente, o aplicativo usado foi o *NoiseTube*, que possibilita a geração de um mapa em arquivo KML com todos os pontos de som medidos, seus respectivos valores e suas posições geográficas.

FIGURA 9 - TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TUBO MARECHAL FLORIANO (26/08/16)



FONTE: A autora (2016). Com dados do *OpenStreetMap* (2016).

FIGURA 10 - TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA (29/08/16)



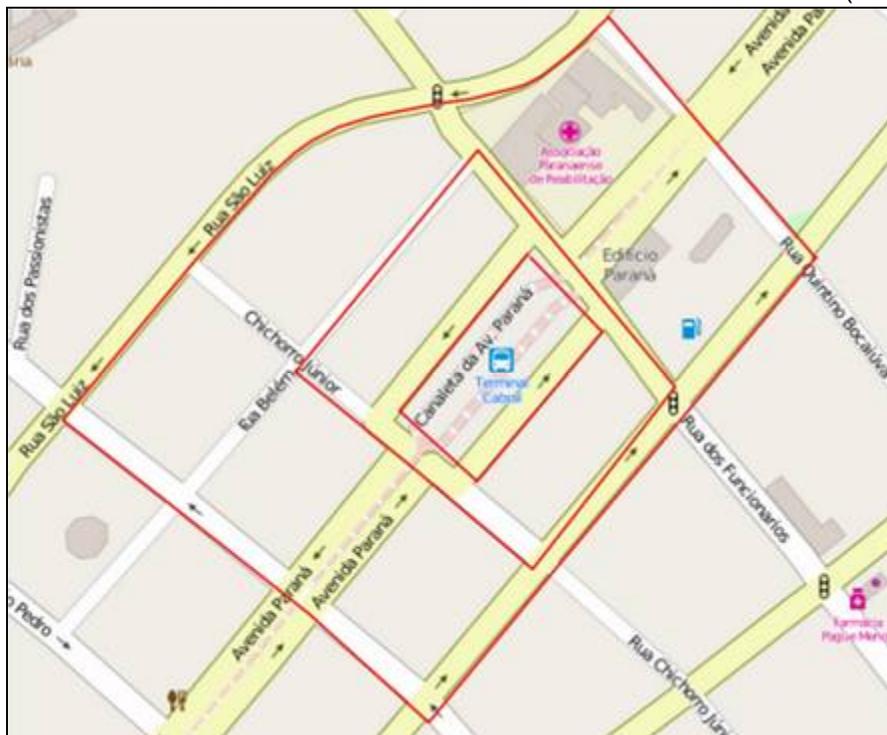
FONTE: A autora (2016). Com dados do *OpenStreetMap* (2016).

FIGURA 11 - TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO (16/09/2016)



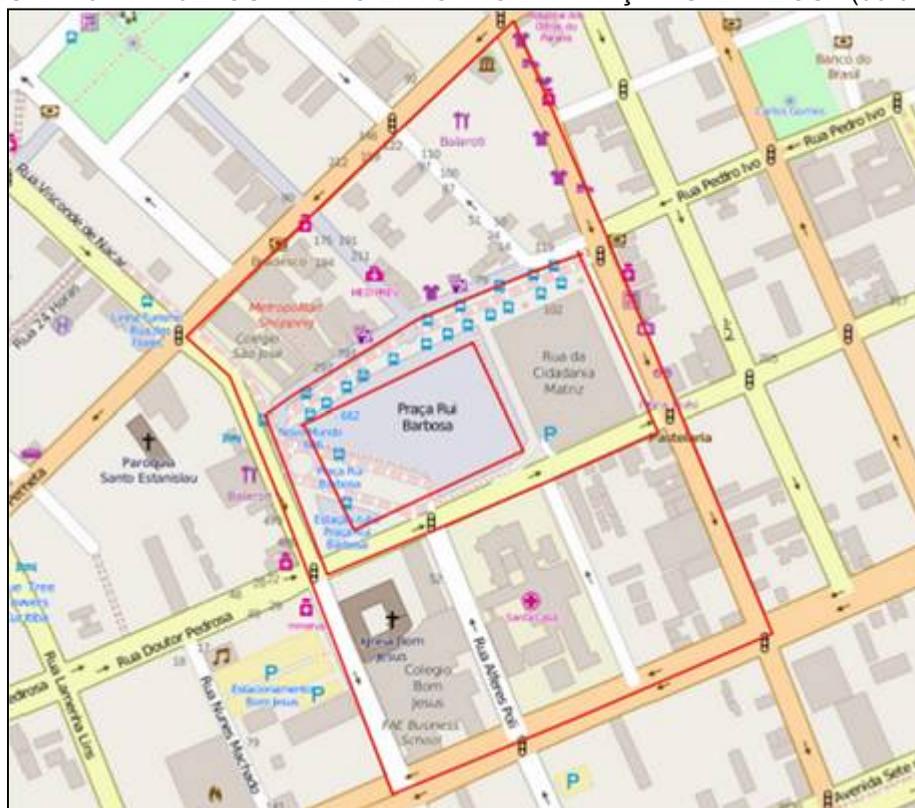
FONTE: A autora (2016). Com dados do *OpenStreetMap* (2016).

FIGURA 12 - TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL (13/09/16)



FONTE: A autora (2016). Com dados do *OpenStreetMap* (2016).

FIGURA 13 - TRAJETOS PARA O ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA (30/08/16)



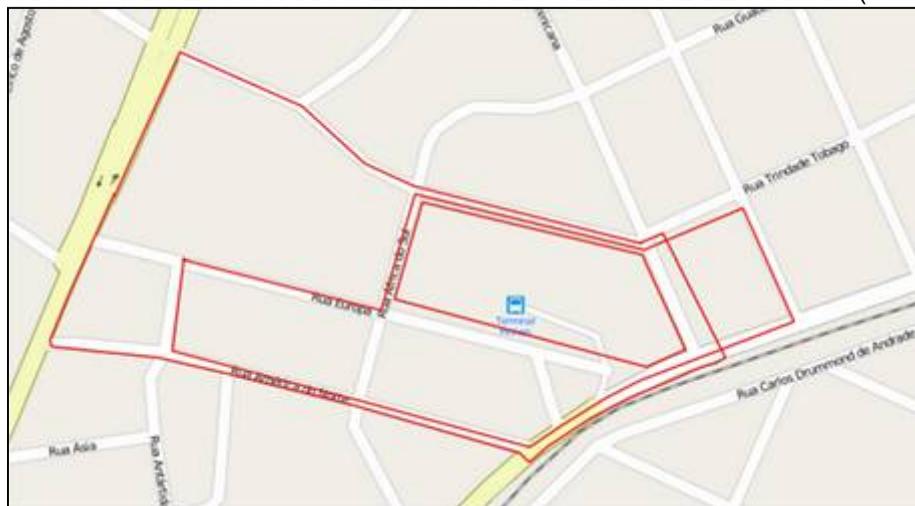
FONTE: A autora (2016). Com dados do *OpenStreetMap* (2016).

FIGURA 14 - TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE (31/08/16)



FONTE: A autora (2016). Com dados do *OpenStreetMap* (2016).

FIGURA 15 - TRAJETOS PARA O ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS (09/09/16)



FONTE: A autora (2016). Com dados do *OpenStreetMap* (2016).

#### 4.2.4 Elaboração dos mapas para análise final

##### 4.2.4.1 Interpolação dos dados de níveis de ruído

A etapa de interpolação de dados iniciou com a escolha do método. Para tanto, inicialmente os dados obtidos com o aplicativo *NoiseTube* em formato KML foram adicionados e salvos como arquivos no formato *shapefile* (vetores) no *software* livre QGIS. O sistema geodésico de referência empregado foi o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), adotado oficialmente no Brasil (IBGE, 2016). Para cada terminal, 5% dos dados foram definidos aleatoriamente como pontos de controle, e os demais interpolados com os algoritmos *Inverse Distance Weighting* (IDW) e *Inverse Distance to a Power* (com potências de um a seis). Tais métodos usam a técnica de interpolação baseada no inverso da distância ponderada. Em outras palavras, eles estimam certo valor de interesse através da atribuição de um peso maior aos valores mais próximos, ajustando, assim, a superfície de tendência gerada. Assim, os resultados dos interpoladores são sensíveis aos pesos atribuídos (BABAK; DEUTSCH, 2008).

A ferramenta *Add raster values to points* permitiu a comparação dos valores das superfícies em formato *raster* interpoladas com seus respectivos pontos de controle. Quando se faz uma comparação entre dados que ao serem plotados se aproximam de uma reta, é possível usar o Método dos Mínimos Quadrados – MMQ para encontrar a função cuja linha de ajuste melhor descreva o conjunto de valores (DEPARTAMENTO DE FÍSICA – UFPR, 2010). As fórmulas usadas para calcular os coeficientes angular e linear da equação da reta por meio do MMQ são deduzidas a partir da minimização do erro dado pela soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados e os valores estimados pela reta ajustada (MILLER, [200-]). No presente estudo, para a escolha do método de interpolação mais adequado, baseou-se no raciocínio do MMQ. A ideia consistiu em verificar para qual técnica interpoladora a soma “E” dos quadrados dos desvios entre níveis de ruído medidos e interpolados seria menor. A título de exemplificação, o passo a passo utilizado pode ser observado na Tabela 6, com dados do Tubo Marechal Floriano.

TABELA 6 – COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLAÇÃO PARA O TUBO MARECHAL FLORIANO

Pontos de controle dB (A)	RESULTADOS DAS INTERPOLAÇÕES							MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS						
	IDW	<i>Inverse distance to a power</i>						IDW	<i>Inverse distance to a power</i>					
		1	2	3	4	5	6		1	2	3	4	5	6
57,61	58,25	61,91	58,15	58,07	58,07	58,07	58,07	0,40	18,51	0,29	0,21	0,21	0,21	0,21
61,09	61,33	65,43	60,81	59,92	59,85	59,84	59,84	0,06	18,86	0,08	1,36	1,55	1,57	1,57
69,39	63,03	66,05	62,77	61,03	60,71	60,66	60,65	40,46	11,16	43,79	69,84	75,31	76,24	76,40
66,50	66,21	66,68	66,09	66,16	66,21	66,23	66,23	0,08	0,03	0,17	0,11	0,08	0,07	0,07
69,28	68,96	67,75	69,24	69,41	69,42	69,42	69,42	0,11	2,35	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
67,65	70,92	68,80	71,34	71,51	71,51	71,51	71,51	10,65	1,30	13,62	14,88	14,89	14,89	14,88
68,88	67,07	67,02	67,06	67,07	67,07	67,07	67,07	3,27	3,47	3,30	3,29	3,29	3,29	3,29
61,95	63,74	65,94	63,67	63,59	63,62	63,63	63,64	3,22	15,94	2,95	2,67	2,79	2,83	2,84
62,65	65,48	66,35	65,47	65,45	65,45	65,45	65,45	8,03	13,72	7,94	7,83	7,84	7,84	7,84
69,39	69,05	69,27	69,07	68,53	68,39	68,35	68,34	0,12	0,01	0,10	0,74	1,01	1,09	1,10
63,98	63,21	66,18	62,95	62,36	62,30	62,29	62,29	0,58	4,82	1,05	2,62	2,82	2,85	2,86
62,34	63,68	65,03	63,67	63,82	63,86	63,86	63,86	1,81	7,24	1,78	2,21	2,31	2,32	2,33
65,70	65,12	67,55	65,16	64,41	64,36	64,36	64,36	0,33	3,43	0,29	1,65	1,78	1,79	1,79
72,81	70,00	69,30	70,04	70,06	70,06	70,06	70,06	7,86	12,29	7,65	7,56	7,56	7,56	7,56
73,59	73,48	71,09	73,52	73,45	73,42	73,41	73,41	0,01	6,22	0,00	0,02	0,03	0,03	0,03
77,20	76,96	70,87	76,70	77,54	77,61	77,62	77,62	0,05	39,97	0,25	0,12	0,17	0,18	0,18
77,17	76,87	75,94	76,94	76,97	76,97	76,97	76,97	0,09	1,51	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
56,79	65,49	66,12	62,06	61,26	61,05	60,98	60,96	75,69	86,99	27,78	19,94	18,10	17,55	17,39
65,09	64,95	66,93	64,83	64,74	64,73	64,73	64,73	0,02	3,38	0,07	0,13	0,13	0,13	0,13
68,85	70,90	71,07	70,90	70,89	70,89	70,89	70,89	4,23	4,93	4,22	4,16	4,17	4,18	4,19
63,55	65,49	66,12	62,06	61,26	61,05	60,98	60,96	3,78	6,61	2,20	5,24	6,26	6,58	6,68
70,97	70,28	71,03	70,23	70,17	70,19	70,21	70,21	0,48	0,00	0,55	0,65	0,61	0,59	0,58
72,62	74,62	71,78	74,57	74,96	75,02	75,03	75,03	4,01	0,70	3,78	5,46	5,74	5,79	5,79
76,04	74,05	74,00	73,99	73,99	73,99	73,99	73,99	3,95	4,15	4,22	4,22	4,22	4,22	4,22
57,82	60,81	63,90	60,54	60,46	60,46	60,46	60,46	8,95	36,96	7,43	6,98	6,99	7,00	7,00
56,12	61,43	64,32	61,26	61,14	61,19	61,20	61,20	28,20	67,19	26,45	25,25	25,66	25,79	25,83
55,24	56,96	60,90	54,91	54,22	54,14	54,13	54,13	2,94	32,04	0,11	1,04	1,21	1,23	1,24
62,80	63,22	64,73	62,97	62,88	62,87	62,87	62,87	0,18	3,72	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
66,58	66,42	67,65	66,40	66,24	66,23	66,23	66,23	0,02	1,15	0,03	0,12	0,12	0,12	0,12
67,45	67,76	67,88	67,71	67,69	67,69	67,69	67,69	0,10	0,19	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06
69,82	68,34	67,76	68,25	68,54	68,59	68,60	68,60	2,17	4,24	2,45	1,62	1,50	1,48	1,48
64,86	66,02	67,12	65,98	66,03	66,05	66,06	66,06	1,34	5,10	1,25	1,36	1,42	1,43	1,43
62,34	62,86	66,72	63,37	62,63	62,57	62,56	62,56	0,27	19,18	1,07	0,09	0,05	0,05	0,05
67,74	72,21	68,94	72,58	73,26	73,31	73,32	73,32	20,00	1,45	23,42	30,41	31,06	31,13	31,14
67,85	67,25	67,96	67,40	67,20	67,16	67,16	67,16	0,35	0,01	0,20	0,42	0,46	0,47	0,47
65,05	67,51	67,48	67,53	67,54	67,54	67,54	67,54	6,07	5,93	6,19	6,23	6,24	6,24	6,24
69,48	68,55	67,85	68,49	68,48	68,48	68,48	68,48	0,86	2,64	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
69,02	70,45	67,92	70,69	71,09	71,11	71,11	71,11	2,04	1,21	2,79	4,26	4,35	4,36	4,36
72,05	71,30	67,55	70,64	71,71	71,81	71,82	71,82	0,56	20,24	1,98	0,11	0,06	0,05	0,05
71,25	69,91	68,13	70,01	70,11	70,05	70,02	70,02	1,81	9,75	1,53	1,30	1,43	1,49	1,52
70,35	70,65	70,26	72,11	72,20	72,21	72,21	72,21	0,09	0,01	3,09	3,44	3,47	3,48	3,48
<b>E:</b>								245,25	478,61	205,20	238,68	246,01	247,23	247,43
<b>Menor valor de E:</b>								205,20	<i>Inverse distance to a power, potência 2</i>					

FONTE: A autora (2016)

Tabelas semelhantes à Tabela 6 foram elaboradas para os demais terminais. Os resultados finais das contas podem ser observados na Tabela 7. No caso do Terminal do Campina do Siqueira, do Terminal do Cabral, da Praça Rui Barbosa, e do Terminal do Pinheirinho, a análise feita levou a conclusão de que o algoritmo que melhor se aplicaria seria o IDW. Nos demais casos (Terminal de Pinhais, Terminal de Fazenda Rio Grande, e Tubo Marechal Floriano), o resultado indicou a aplicação do *Inverse Distance to a Power*, com potência quadrática. Optou-se por fazer uma comparação entre os valores obtidos para os dois métodos apontados a fim de se chegar a conclusão de qual técnica seria efetivamente utilizada. Como a utilização do IDW em todos os equipamentos levaria a um total menor do que se o contrário fosse executado (Tabela 8), definiu-se que este compreenderia a metodologia de interpolação aplicada no presente estudo.

TABELA 7 – RESULTADOS FINAIS DO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

EQUIPAMENTOS URBANOS		TÉCNICAS DE INTERPOLAÇÃO						
		IDW	Inverse distance to a power					
			1	2	3	4	5	6
Terminais	Cabral	886,211	1707,734	988,195	920,113	903,596	894,167	889,712
	Campina do Siqueira	998,711	1805,522	1232,346	1212,829	1205,373	1199,599	1197,923
	Pinheirinho	1437,620	2351,543	1566,272	1501,137	1499,807	1508,924	1518,701
	Fazenda Rio Grande	805,314	815,931	751,409	759,586	787,852	806,123	818,884
	Pinhais	1542,458	2082,339	1529,020	1659,386	1721,656	1744,098	1752,890
	Tubo Marechal Floriano	245,249	478,609	205,199	238,677	246,009	247,228	247,433
	Praça Rui Barbosa	412,981	1673,203	806,094	765,628	765,628	782,881	797,753

Fonte: A autora (2016).

TABELA 8- IDW versus *INVERSE DISTANCE TO A POWER* (2)

Equipamentos Urbanos		Valores de E		
		IDW	<i>Inverse distance to a power, potência 2</i>	Módulo da diferença entre os dois métodos
Terminais	Cabral	886,211	988,195	101,983
	Campina do Siqueira	998,711	1232,346	233,635
	Pinheirinho	1437,620	1566,272	128,652
	Fazenda Rio Grande	805,314	751,409	53,905
	Pinhais	1542,458	1529,020	13,438
	Tubo Marechal Floriano	245,249	205,199	40,050
Praça Rui Barbosa		412,981	806,094	393,113

Fonte: A autora (2016).

O fato de o IDW ter sido aplicado em outros estudos muito similares (SHIM, et al., 2016; AKINTUYI, et al., 2014; MEHDI, et al., 2011) também foi relevante na escolha da técnica.

Uma característica curiosa que vale a pena ser observada na Tabela 6 está na existência de alguns valores mais discrepantes que os demais. É o caso dos valores interpolados correspondentes aos pontos de controle 69,39; 67,65; 63,98; 56,79; 56,12; e 67,74. Como o método IDW está relacionado ao inverso das distâncias, uma possível justificativa para o comportamento observado pode estar no fato de as distâncias entre cada um desses pontos e seus respectivos vizinhos mais próximos apresentarem uma maior desigualdade. Onde as medições obtidas através do *NoiseTube* estavam homogeneamente distribuídas, os erros foram, no geral, menores. Adicionalmente, a poluição sonora sendo afetada por diversos fatores físicos que não se restringem ao deslocamento espacial pode ser uma segunda explicação para os resultados apresentados na Tabela 6.

No presente trabalho, a resolução espacial utilizada na geração das superfícies pelo método IDW foi de 2 metros; ou seja, os pixels das imagens geradas apresentam 4m<sup>2</sup> de área.

#### 4.2.4.2 Delimitação das zonas de silêncio

Conforme informado no item 4.2.2, as legislações que tratam de ruídos realçam a importância da delimitação de áreas classificadas como Zonas de Silêncio para a correta identificação dos limites máximos de níveis acústicos. Sendo assim, torna-se necessário definir tais regiões. Este objetivo foi atendido por meio da ferramenta *Buffer* do QGIS 2.14.3, aplicada no entorno de ambulatórios, hospitais, estabelecimentos de saúde ou similar com leitos para internamento, escolas, bibliotecas públicas, creches, hotéis e similares. O reconhecimento desses equipamentos urbanos, por sua vez, foi conseguido através do *Google Earth*, e, no caso específico de Curitiba, do material pertinente disponível em formato *shapefile* na página de downloads do setor de geoprocessamento do IPPUC (IPPUC, 2016). Após essa verificação e localização das zonas sensíveis ao som, os polígonos que as delimitam foram desenhados no QGIS

tendo como base o mapa do *Google Maps*, adicionado ao *software* a partir do repositório *OpenLayers plugin*. Como o *Google Maps* apresenta o sistema de georreferenciamento *WGS1984 Pseudo Mercator*, os desenhos foram feitos inicialmente neste referencial geodésico, e depois transformados para SIRGAS 2000. As listas contendo os itens considerados para cada terminal, com exceção do Tubo Marechal Floriano que não é afetado por nenhuma Zona de Silêncio, podem ser observadas nos Quadros 4 ao 9. Vale observar que não foram consideradas escolas de língua estrangeira e centros de psicologia sem internamento.

QUADRO 4 – EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL

<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>	<b>Rua, nº</b>	<b>Bairro</b>
Hospital	Ana Carolina Moura Xavier	Quintino Bocaiúva, 329	Cabral

Fonte: A autora (2016). Com dados de: Google Earth (2016), IPPUC (2016), Google Maps (2016).

QUADRO 5 – EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA

<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>	<b>Rua, nº</b>	<b>Bairro</b>
Casa de Saúde	Instituto Paulo Alencar	Jerônimo Durski, 1111	Campina do Siqueira
Berçário	Oxford Jardins	Alameda Princesa Izabel, S/N	Campina do Siqueira
Escola Estadual	Padre Olímpio de Souza	Alameda Princesa Izabel, 3191	Campina do Siqueira
Unidade de Saúde - Pública Municipal	US Campina do Siqueira	General Mário Tourinho, 1684	Campina do Siqueira
Faculdade - Particular	Faculdade Evangélica do Paraná	Padre Anchieta, 2770	Bigorriho

Fonte: A autora (2016). Com dados de: Google Earth (2016), IPPUC (2016), Google Maps (2016).

QUADRO 6 – EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO

<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>	<b>Rua, nº</b>	<b>Bairro</b>
Hospital Público Municipal	Zilda Arns	Lothário Boutin, 90	Pinheirinho
UPA - Unidade de Pronto Atendimento - Público Municipal	24 Horas Pinheirinho	Leon Nicolas, S/N	Capão Raso
Escola Municipal de Educação Especial	Tomaz Edison de Andrade Vieira	Leon Nicolas, SN	Capão Raso
Unidade Educacional Especializada - Público Municipal	Maria Cândida Fankin Abrão	Leon Nicolas, S/N	Capão Raso
Centro de Educação Infantil - Particular	Gasparzinho	Leon Nicolas, 207	Capão Raso
Escola	Keluc	Dr. Waldemiro Pereira, 480	Capão Raso

Fonte: A autora (2016). Com dados de: Google Earth (2016), IPPUC (2016), Google Maps (2016).

QUADRO 7 – EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA

<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>	<b>Rua, nº</b>	<b>Bairro</b>
Escola	Escola Junshin Imaculado Coração	Nunes Machado, 289	Centro
Hotel	Hotel Sol	Sete de Setembro, 3448	Centro
Faculdade	FAE Business School	Visconde de Guarapuava, 3263	Centro
Instituto Educacional	Equilibra	Sete de Setembro, 3230	Centro
Universidade Federal	UTFPR Bloco J1	Desembargador Westphalen, 637	Centro
Instituto Superior de Administração e Economia	ISAE/ Fundação Getúlio Vargas	Visconde de Guarapuava, 2943	Centro
Instituto Educacional	Damásio Educacional	Marechal Floriano Peixoto, 886	Centro
Hospital	Santa Casa de Curitiba	Praça Rui Barbosa, 694	Centro
Maternidade	Maternidade Nossa Senhora de Fátima	Visconde de Guarapuava, 3077	Centro
Colégio	Colégio Bom Jesus	24 de Maio, 135	Centro
Faculdade	UniCesumar	Doutor Pedrosa, 55	Centro
Faculdade	FACET Faculdades	Marechal Floriano Peixoto, 470	Centro
Escola - Cursos Preparatórios	Curso Evidente	Marechal Floriano Peixoto, 498	Centro
Unidade de Saúde Especializada - Público Municipal	Centro de Especialidades Médicas: Matriz	Alameda Dr. Murici, 498	Centro
Hospital	Hospital de Olhos do Paraná	Praça Zacarias, 51	Centro
Hotel	Presidente Hotel	Desembargador Westphalen, 33	Centro
Hotel	Hotel Lancaster	Voluntários da Pátria, 91	Centro
Escola	Curso Pré-Vestibular Domínio	Senador Alencar Guimarães, 251	Centro
Instituição de Ensino	FAE e Colégio SESC São José	Praça Rui Barbosa, 661	Centro
Hotel	Bristol Metropolitan Flat	Emiliano Pernetá, 261	Centro
Hotel	Guaíra Palace Hotel	Praça Rui Barbosa, 537	Centro
Escola	Curso Acesso	Emiliano Pernetá, 566	Centro
Clínica	Clínica Bellage- Cirurgia Plástica	Emiliano Pernetá, 390	Centro
Universidade	Universidade Positivo - Câmpus Praça Osório	Praça General Osório, 125	Centro
Hotel	Hotel Centro Europeu Tourist	Praça General Osório, 61	Centro
Universidade	UNINTER - Centro Universitário Internacional Câmpus Garzes	Luís Xavier, 103	Centro
Hotel	Slaviero Slim	Luís Xavier, 67	Centro
Escola	Instituto de Educação do Paraná	Emiliano Pernetá, 92	Centro
Biblioteca	Biblioteca Pública do Paraná	Cândido Lopes, 133	Centro
Hotel	Hotel Globo	Senador Alencar Guimarães, 71	Centro
Centro Universitário	Uniandrade	Alameda Dr. Muricy, 706	Centro

Fonte: A autora (2016). Com dados de: Google Earth (2016), IPPUC (2016), Google Maps (2016).

QUADRO 8 – EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DE FAZENDA RIO GRANDE

<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>	<b>Rua, nº</b>	<b>Bairro</b>
Colégio	SESI	Carlos Eduardo Nichele, 2084	Pioneiros
Colégio	Educandário Santa Felicidade	Manoel Claudino Barbosa, 1725	Pioneiros
Escola Profissionalizante	Instituto Mix	Francisco Claudino dos Santos, 222	Iguaçu
Hotel	Hotel Verona	César Carelli, 152	Pioneiros
Centro Médico e Diagnóstico	CONCEMED	Av. Araucárias, 67	Eucaliptos

Fonte: A autora (2016). Com dados de: Google Earth (2016) e Google Maps (2016).

QUADRO 9 – EQUIPAMENTOS DA ZONA DE SILÊNCIO NO ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS

<b>Classificação</b>	<b>Identificação</b>	<b>Rua, nº</b>	<b>Bairro</b>
Escola Municipal	Dona Maria Chalcoski	América do Sul, 209	Centro
Hotel	Pousada Macher	Camilo di Lellis, 697	Centro
Hotel	Slaviero Executive Pinhais	Camilo di Lellis, 689	Centro
Escola	Peter Pann	Vinte e Cinco de Agosto, 399	Centro
Berçário e Pré-Escola	Lion School	Antártida, 758	Centro
Centro de Educação Infantil	Pequeno Panda	América do Norte, 229	Centro

Fonte: A autora (2016). Com dados de: Google Earth (2016) e Google Maps (2016).

#### 4.2.4.3 Determinação do zoneamento urbano no entorno dos terminais

Adicionalmente às Zonas de Silêncio, as legislações referentes à poluição sonora estabelecem os limites máximos de níveis de ruído conforme o zoneamento da área de estudo (CURITIBA, 2002; FAZENDA RIO GRANDE, 2015; PINHAIS, 1997). Sendo assim, é indispensável analisar os mapas pertinentes. No que diz respeito à Curitiba, o novo mapa (CURITIBA, 2015b), está disponível também em formato de arquivo *shapefile* (IPPUC, 2016). Assim, a sobreposição deste com os mapas interpolados de poluição sonora facilitou a classificação dos setores de cada terminal da capital paranaense. Por outro lado, no caso dos terminais de Pinhais e Fazenda Rio Grande, o zoneamento urbano foi elaborado pela autora através de ferramentas de desenho do QGIS, com base nos mapas de zoneamento em formato pdf fornecidos pelas respectivas prefeituras (PINHAIS, 2011b e FAZENDA RIO GRANDE, 2013b).

#### 4.2.4.4 Finalização dos Mapas

Os mapas de níveis de ruídos, gerados pelo método de interpolação IDW, das Zonas de Silêncio e dos zoneamentos urbanos, foram sobrepostos por meio do QGIS 2.14.3, de modo a permitir uma análise baseada nos limites estabelecidos pelas leis 10.625/2002 de Curitiba, 220/1997 de Pinhais, e 861/2011 e 1.079/2015 de Fazenda Rio Grande.

#### 4.2.5 Estimativa das áreas poluídas

Para que a porcentagem das áreas que extrapolam os limites estabelecidos pelas normas referentes à poluição sonora fosse determinada, inicialmente foi necessária a reclassificação e vetorização dos *rasters* gerados pelo método de interpolação IDW. Então, por meio da ferramenta *Intersect*, aplicada entre os mapas de poluição sonora, zonas de silêncio e zoneamento (a depender do caso) tornou-se possível estimar os valores de áreas correspondentes ao cumprimento da legislação.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 VIABILIDADE DO USO DE SMARTPHONES COMO SENSORES DE RUÍDO

O fato de *smartphones* possuírem sensores que possibilitam a estimativa de som, luz, movimento, localização geográfica, entre outros, atrelado ao seu largo uso nos últimos anos permitiu que pessoas sem formação técnica gerassem uma rica quantia de informação, através do chamado *crowdsourcing* (SHIM, et al., 2016). Considerando que o som, assim como outros parâmetros ambientais, tem sua intensidade variando com frequência, a técnica do *crowdsourcing* apresenta como vantagem a superação de barreiras tanto espaciais quanto temporais, abrindo espaço para o desenvolvimento do *Participatory Sensing* (SHIM, et al., 2016).

O propósito de avaliar a aplicabilidade e viabilidade do uso do *software* para *smartphones* intitulado *NoiseTube*, já previamente analisado em estudos realizados fora do Brasil (STEVENS; D'HONDT, 2010; MAISONNEUVE et al, 2009; D'HONDT; STEVENS; JACOBS, 2012, PEREIRA, 2013), foi atingido por meio do seu emprego no entorno de terminais da RMC.

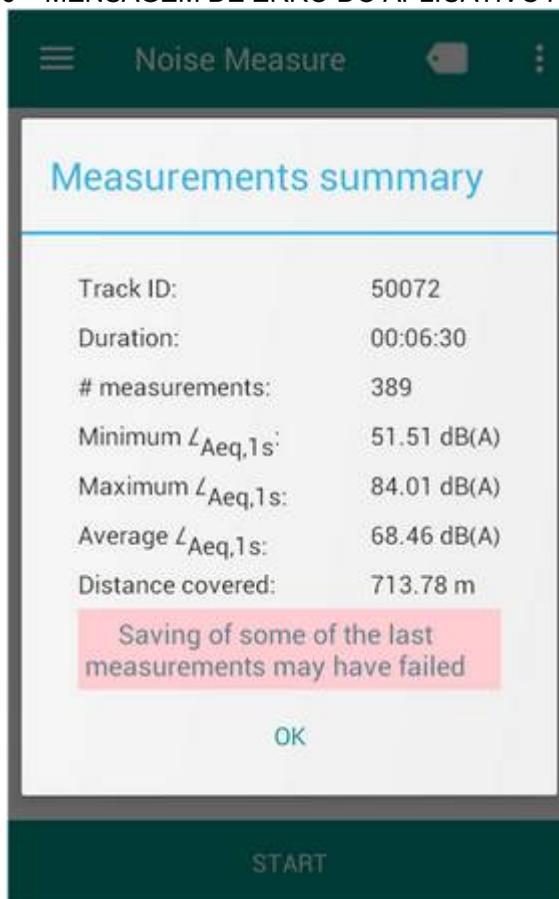
O aplicativo *NoiseTube* apresentou fácil manuseio. Embora a plataforma esteja na língua inglesa, o manual que orienta o usuário quanto à prática do aplicativo está disponível em português (NOISETUBE, 2015b). As posições geográficas dos dados medidos em dB (A) são facilmente adquiridas através do perfil do usuário. O fato de elas terem sido cedidas em formato KML permitiu com que ferramentas de interpolação de SIG fossem testadas e empregadas para preencher os espaços sem valores de medição. Vale ressaltar que a ideia está na ampla utilização do *software*, a fim de que cada vez mais áreas sejam preenchidas com informações sobre ruídos, diminuindo assim o erro causado pela interpolação de dados muito distantes. Uma das vantagens do *NoiseTube* está na geração de um significativo número de dados a baixo custo, haja visto que os valores de Leq medidos são atualizados a cada 1-2 segundos durante as trajetórias percorridas e que o aplicativo é ofertado gratuitamente. Considerando que o sistema de monitoramento de ruídos por métodos convencionais exige mão de obra especializada e altos recursos financeiros, o desempenho do aplicativo testado no presente projeto torna-se especialmente relevante e útil. É importante ressaltar que

para a obtenção de resultados adequados, atenção deve ser dada ao posicionamento do aparelho celular durante as medições. Um *smartphone* localizado dentro de uma bolsa, por exemplo, trará resultados errôneos. A cada início de trajeto, o aplicativo mostra uma tela lembrando o usuário de que o microfone deve estar posicionado para cima.

Embora presente as qualidades anteriormente apresentadas, vale a pena destacar as dificuldades e restrições encontradas durante a prática de medições por meio do *NoiseTube*:

1. É necessário ter acesso à internet durante todo o percurso, o que representa essencialmente o único gasto envolvido com a metodologia empregada;
2. Como o GPS do dispositivo deve estar ligado, o *NoiseTube* acaba consumindo uma quantidade significativa da energia do celular;
3. Se a opção de salvar dados no dispositivo estiver selecionada, deve se dar atenção à quantidade de espaço disponível no celular, para que erros não ocorram durante as medições;
4. É importante que o celular esteja no modo silencioso, de modo que os sons gerados pelo próprio aparelho não influenciem nos resultados;
5. Em alguns dos casos de testes realizados previamente com o *NoiseTube* em que as medições duraram aproximadamente 10 minutos ou mais, os dados não foram salvos corretamente, de modo que para a medição efetiva dos valores de som do presente estudo os trajetos tiveram que ser percorridos por partes, o que exigiu paradas rápidas para o manuseio do aplicativo;
6. A presença de construções mais altas influencia o GPS do dispositivo, e consequentemente na localização dos pontos devido à margem de erro do sistema de posicionamento;
7. No caso específico do Tubo Marechal Floriano, a proposta inicial de trajeto envolveria a passagem por debaixo do viaduto da avenida Marechal Floriano Peixoto. No entanto, isso não foi possível na prática devido a erros, possivelmente devido ao GPS;
8. Em alguns casos, a mensagem de erro apresentada na Figura 16 era informada ao usuário pelo *NoiseTube*, e as medições tinham que ser refeitas.

FIGURA 16 – MENSAGEM DE ERRO DO APLICATIVO NOISETUBE



Fonte: A autora (2016).

É essencial ressaltar que para a aplicação da legislação e expedição de multas, provavelmente as medições controladas e com equipamento calibrado tradicional seriam indicadas. As ferramentas colaborativas como o *NoiseTube* tem um grande potencial de aplicação para que a própria população participe do processo de identificação de ruídos nas regiões onde reside e transita, bem como para a identificação de áreas às quais maior atenção quanto a poluição sonora deva ser dada. No entanto, para a cobrança efetiva pelo órgão competente, a metodologia exigida pela própria lei deve ser aplicada.

## 5.2 TERMINAL DO CABRAL

O mapa de ruído para o entorno do terminal do Cabral pode ser observado no Apêndice 01. De acordo com o zoneamento de Curitiba, esta região contém tanto Zonas Residenciais 4 quanto Setores Especiais (CURITIBA,2015b). Para fins de comparação com as determinações da lei municipal 10.625/2002, 46% desta área passa a ser caracterizada como Zona de Silêncio (devido à localização do Hospital Ana Carolina Moura Xavier), de modo que o limite máximo permitido para níveis de pressão sonora deveria atender ao critério mais restritivo de 55 dB(A) (CURITIBA, 2002). Sendo assim, como mostram as Tabelas 9 e 10, 100% do espaço considerado mais sensível aos ruídos pode ser avaliado como poluído. Para o restante da região, o limite seria de 65 dB(A) (vide Tabela 3), de tal maneira que 57% do entorno do terminal estaria em desacordo com a lei pertinente. Vale lembrar que, como os valores estipulados pela lei mencionada não se aplicam a metodologia envolvendo VGI, o seu uso aqui tem o único propósito de compreender o cenário sonoro da região. No total, 77% do entorno do terminal do Cabral estaria em condições desadequadas de níveis de ruído.

TABELA 9 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL – PARTE 1

Níveis de Ruído dB(A)	ÁREAS					
	Zona de Silêncio		ZR-4 e SE		Global	
	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%
0 a 55	20,00	0	244	0	264	0
55 a 60	1696	2	8052	10	9748	6
60 a 65	28840	39	28564	33	57404	36
65 a 70	38275	51	40905	48	79180	49
70 a 85	6097	8	7935	9	14032	9
Total	74928	100	85700	100	160628	100,00

Fonte: A autora (2016)

TABELA 10 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CABRAL – PARTE 2

ÁREAS	Dentro do limite permitido	Acima do limite permitido
Zona de Silêncio	0%	100%
ZR-4 e SE	43%	57%
Global	23%	77%

Fonte: A autora (2016).

O mapa do Apêndice 01 permite algumas análises no que diz respeito ao comportamento das ondas sonoras no entorno de terminal do Cabral.

No lado direito do terminal, paralelo à rua dos Funcionários, os níveis de pressão sonora estão mais elevados. Isso pode ser justificado pela passagem do expresso Santa Cândida/ Capão Raso, que freia a fim de entrar no terminal.

Na região da intersecção da rua Belém com uma das ruas que contorna o terminal, pode ser observado que os valores medidos são menores. Isso se deve ao fato de que, embora existam edifícios altos no local que refletem as ondas sonoras e assim intensificam os ruídos, no horário em que o trajeto foi percorrido não foi observada grande movimentação de veículos.

Nas ruas São Luiz e Deputado Joaquim José Pedrosa localizam-se os níveis mais elevados de ruídos. Como nelas há quatro vias, o maior fluxo de carros/ motos eleva os níveis de pressão sonora. A característica topográfica da região localizada próxima ao Hospital Ana Carolina Moura Xavier agrava essa situação, uma vez que quando veículos trafegam em avenidas mais íngremes eles normalmente produzem mais barulho (FIEDLER, 2013).

De um modo geral, o mapeamento de poluição sonora no entorno do terminal do Cabral permite concluir que a principal fonte de ruídos na região não se deve ao terminal em si, mas ao tráfego intenso nas vias ao redor dele. Como há um grande número de edifícios, a densidade demográfica e por consequência o número de veículos que acessam a área aumentam (BALZAN, 2011).

### 5.3 TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA

As Tabelas 11 e 12, bem como o Apêndice 02 caracterizam a região do entorno do terminal do Campina do Siqueira no que diz respeito à poluição sonora. Aqui, uma análise feita com base na lei nº 10.625/2002, exigiu a divisão da região de estudo em quatro blocos:

1. Zonas de Silêncio – com limite máximo permitido de 55 dB(A);
2. Setor Especial Estrutural, Setor Especial Nova Curitiba e Zona Residencial 4 – com limite de 65 dB(A);

3. Zona de Transição Nova Curitiba – com valor máximo permitido de 60 dB(A);
4. E Zona Residencial 3 – com limite aceitável de até 55 dB(A).

Essas informações, em conjunto com os valores apresentados na Tabela 11 e os resultados gerais contidos na Tabela 12 provam que: se encontram acima do limite permitido pela legislação pertinente aproximadamente 100% do bloco 1; 41% do bloco 2; 99% do grupo 3; e 99% do grupo 4. A situação do entorno do Terminal do Campina do Siqueira se agrava com relação à do Cabral. Uma das justificativas plausíveis para isso está na existência da ZR-3, a qual é tão restritiva quanto uma Zona de Silêncio.

TABELA 11 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA – PARTE 1

Níveis de Ruído dB(A)	ÁREAS									
	Zona de Silêncio		SE, SE-NC e ZR-4		ZT-NC		ZR-3		Global	
	(m <sup>2</sup> )	%								
0 a 55	162	0	10	0	0	0	164	1	336	0
55 a 60	2364	2	507	2	32	1	1277	4	4180	2
60 a 65	44889	38	12035	57	1256	26	20812	64	78992	45
65 a 70	68379	58	8357	40	2675	55	9555	30	88966	51
70 a 85	2212	2	172	1	913	19	391	1	3688	2
Total	118006	100	21081	100	4876	100	32199	100	176162	100

Fonte: A autora (2016)

TABELA 12 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO CAMPINA DO SIQUEIRA – PARTE 2

ÁREAS	Dentro do limite permitido	Acima do limite permitido
Zona de Silêncio	0%	100%
ZR-4, SE-NC e SE	59%	41%
ZT-NC	1%	99%
ZR-3	1%	99%
Global	7%	93%

Fonte: A autora (2016).

Como a área é circundada por vias com grande fluxo de movimento, ligando pontos importantes da cidade e sendo, inclusive, acesso para outras cidades da RMC, os níveis de ruído acabam sendo intensificados, devido não somente a quantidade de veículos, mas também a composição destes (veículos pesados e leves). A topografia de

região também tem grande efeito nos níveis de pressão sonora. Por exemplo, na rua Jerônimo Durski há uma inclinação significativa, o que eleva os ruídos. Analisando o mapa como um todo, 93% da área estão comprometidos no que tange a poluição sonora.

#### 5.4 TERMINAL DO PINHEIRINHO

O mapa de ruído do entorno do terminal do Pinheirinho encontra-se no Apêndice 03. Como mostra a Tabela 13, para a análise de poluição sonora foi necessário dividir a região em três grupos, a saber:

1. Grupo 1 – equivalente à Zona de Silêncio, com limite máximo permitido de 55 dB(A) (CURITIBA, 2002);
2. Grupo 2 – equivalente ao Pólo da Linha Verde, com limite aceitável de 70 dB(A) (vide Tabela 3);
3. Grupo 3 – que compreende a Zona Residencial 4, o Setor Especial Conector, o Setor Especial e o Setor Especial da Linha Verde, com limite máximo permitido de 65 dB(A) (vide Tabela 3).

Como a lei nº 10.625/2002 não foi atualizada para o novo zoneamento da cidade, não há valores máximos do nível de pressão sonora estipulados para o Pólo-LV e para o SE-LV. Assim, para a presente análise foi considerado que o primeiro poderia ser definido como Zona de Serviço, devido às características da região, e o segundo como SE-BR-116, uma vez que a Linha Verde de Curitiba é na verdade a antiga BR-116. A soma dos valores encontrados da Tabela 13 para os três blocos levam aos resultados apresentados pela Tabela 14. Assim, 100% do grupo 1, 83% do grupo 2 e 58% do grupo 3 podem ser considerados como poluídos. Considerando a área global da região do estudo, ao todo 76% da região estudada apresentam problemas quanto à emissão de ruídos.

TABELA 13 – ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO – PARTE 1

Níveis de Ruído dB(A)	ÁREAS							
	Zona de Silêncio		PÓLO - LV		ZR-4, CONEC-1, SE e SE-LV		Global	
	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%
0 a 55	388	0	0	0	1052	1	1440	1
55 a 60	8075	6	0	0	15235	8	23310	7
60 a 65	41197	30	0	0	58125	33	99322	31
65 a 70	79586	58	323	17	95510	54	175419	55
70 a 85	9008	6	1629	83	6931	4	17568	6
Total	138254	100	1952	100	176853	100	317059	100

FONTE: A autora (2016).

TABELA 14 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO PINHEIRINHO – PARTE 2

ÁREAS	Dentro do limite permitido	Acima do limite permitido
Zona de Silêncio	0%	100%
PÓLO- LV	17%	83%
ZR-4, CONEC-1, SE e SE-LV	42%	58%
Global	24%	76%

FONTE: A autora (2016).

Próximo ao Terminal do Pinheirinho passam duas ruas, consideradas “vias rápidas”, com grande relevância para a cidade: a rua André Ferreira de Bairros e rua Marechal Otávio Saldanha Mazza. Elas permitem a conexão do centro de Curitiba com os bairros ao sul, além de permitirem o acesso à Linha Verde. Por apresentarem quatro faixas, o fluxo de veículos por essas ruas é intenso, o que justifica a presença de picos de 70 a 85 dB(A) próximos aos sinaleiros localizados ao longo das vias.

Picos de níveis de pressão sonora também podem ser observados no entorno do terminal, devido à entrada e saída de ônibus. Dos terminais localizados em Curitiba analisados por este trabalho, o Pinheirinho é o que apresenta maior número de passageiros por dia, chegando a aproximadamente 130310 passageiros/dia (RAMOS, 2016). Assim, pode-se afirmar que a presença do terminal afeta significativamente a existência de ruídos mais elevados na região. Vale observar que na rua João Rodrigues Pinheiro ocorre a passagem dos ônibus biarticulados que vão para a Linha Verde, aumentando os níveis medidos no local.

De acordo com FIELDER (2013), os automóveis provavelmente irão provocar mais barulho ao subirem ou descerem vias íngremes. Embora a rua Atílio Brunetti apresente inclinações em alguns trechos, ela faz parte de uma região fortemente residencial, de tal modo que os níveis de pressão sonora na sua extensão são menores em decorrência do menor fluxo de veículos. Na intersecção da rua Dr. Waldemiro Pereira com a rua Atílio Brunetti há um terreno vazio, o que reduz ainda mais a presença de ruídos, devido à falta de edifícios e casas que reflitam as ondas sonoras.

## 5.5 TUBO MARECHAL FLORIANO

O Apêndice 4 contém o mapa de ruídos para o entorno do Tubo Marechal Floriano. Nessa região, não há nenhum equipamento urbano que caracterize algum local como Zona de Silêncio. Para a comparação com a lei 10625/2002 foram adotadas as mesmas considerações feitas para as zonas Pólo-LV e SE-LV no caso do Terminal do Pinheirinho. Assim, como mostram os resultados apresentados pelas Tabelas 15 e 16, dentro do Pólo-LV, 40% dos níveis de pressão sonora estão acima do permitido e na região que compreende o SE-LV, 93% está poluída. Ao todo, 44% estão em desacordo com as definições da legislação pertinente.

TABELA 15 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TUBO MARECHAL FLORIANO – PARTE 1

Níveis de Ruído dB(A)	ÁREAS					
	Pólo - LV		SE - LV		Global	
	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%
0 a 55	0,	0,	0,	0	0	0
55 a 60	216	1	0,	0	216	1
60 a 65	3500	7	272	7	3772	7
65 a 70	24981	52	2956	72	27936	54
70 a 85	19053	40	863	21	19916	38
Total	47750	100	4091	100	51840	100

FONTE: A autora (2016).

TABELA 16 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DO TUBO MARECHAL FLORIANO – PARTE 2

ÁREAS	Dentro do limite permitido	Acima do limite permitido
Pólo - LV	60%	40%
SE - LV	7%	93%
Global	56%	44%

FONTE: A autora (2016).

No espaço estudado ao redor do Tubo Marechal, os níveis de ruído são mais afetados pelas características da Linha Verde, do que pela estação em si. Tanto a composição quanto a fluidez do trânsito são fatores determinantes à presença de ruídos aqui. De acordo com Balzan (2011), os níveis de pressão sonora  $L_{Aeq}$  (medidos no caso pelo *software NoiseTube*) são mais afetados pela variabilidade da quantidade de veículos pesados do que de veículos leves. Na antiga BR-116 há a passagem de muitos caminhões, os quais, conforme Fiedler (2013) emitem mais barulhos que os automóveis, devido ao fato de terem mais rodas em contato com a estrada e apresentarem frequentemente freios motor em desaceleração. No caso, a forma de dirigir de cada motorista acaba afetando também a poluição sonora.

## 5.6 PRAÇA RUI BARBOSA

O mapa acústico do entorno da Praça Rui Barbosa é apresentado no Apêndice 05. De acordo com o zoneamento de Curitiba, esta região inclui a Zona Central e o Setor Especial Estrutural (CURITIBA, 2015b). No entanto, para o atendimento da lei 10.625/2002, referente a ruídos, a área está totalmente localizada dentro de uma Zona de Silêncio. Ao todo, são 31 equipamentos urbanos, dentre universidades, escolas, hospitais, e outros, que caracterizam a região como sensível a ruídos. Como provam as Tabelas 17 e 18, 99% da área no entorno da Praça Rui Barbosa estaria caracterizada como poluída, no que diz respeito à poluição sonora. Cerca de 111.046 passageiros passam por dia pela praça Rui Barbosa (RAMOS, 2016)

TABELA 17 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA – PARTE 1

Níveis de Ruído dB(A)	ÁREAS			
	Zona de Silêncio		Global	
	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%
0 a 55	1248	1	1248	1
55 a 60	17536	8	17536	8
60 a 65	106868	50	106868	50
65 a 70	81700	39	81700	39
70 a 85	4160	2	4160	2
Total	211512	100,00	211511,99	100,00

FONTE: A autora (2016)

TABELA 18 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DA PRAÇA RUI BARBOSA – PARTE 2

ÁREAS	Dentro do limite permitido	Acima do limite permitido
Zona de Silêncio	1%	99%
Global	1%	99%

FONTE: A autora (2016)

A posição estratégica da Praça Rui Barbosa, localizada no centro de Curitiba, faz com que muitos hospitais, universidades, e hotéis estejam localizados ao seu redor. Isso agrava a caracterização do local quanto a poluição sonora, devido a maior restrição, de 55 dB(A), definida pela legislação. Um fator que favorece o aumento dos níveis de pressão sonora aqui é a verticalização da região. Quando as ondas sonoras entram em contato com uma superfície, um percentual delas é absorvido, outro é transmitido, e o que sobrar é refletido (SILVA, 2015). De acordo com Silva (2015), nos casos em que os dois primeiros fenômenos citados não forem significantes, as superfícies podem ser definidas como acusticamente refletoras. Torija, Ruiz e Ramos (2007, apud BALZAN, 2011) definem que quando a razão entre a altura das edificações e a largura das vias ( $h/d$ ) for maior que 1,0 são detectados os chamados cânions urbanos, nos quais as elevações dos níveis de pressão sonora são de grande relevância. Assim, onde há um maior número de edifícios, os níveis de ruído são elevados devido a dois fatores: o aumento do fluxo de veículos devido a maior densidade demográfica da região e a amplificação das reflexões sonoras causada pelos prédios (BALZAN, 2011).

## 5.7 TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE

O Apêndice 06 apresenta o mapa de poluição sonora para o entorno do Terminal de Fazenda Rio Grande. No caso deste município, as leis que tratam de ruídos urbanos são a 861/2011 e a 1079/2015. A área de estudo aqui está localizada sobre as Zonas Central e Comercial e de Serviços, cujo limite máximo permissível de ruído durante o período diurno é de 65 dB(A) (vide Tabela 5). No que diz respeito à Zona de Silêncio, a lei nº 861/5011 determina que esta deva atender à restrição dada a Área de Setor Especial, portanto, ao limite de 45 dB(A) (vide Tabela 5). Sendo assim, as Tabelas 19 e 20 levam a conclusão de que dentro da Zona de Silêncio, 100% dos dados estariam acima do permitido, enquanto que na área correspondente à ZC e ZCS exclusivamente, apenas 22% caracterizaria o local como poluído. No total da região de estudo, 66% estaria em desacordo com o permitido por lei.

TABELA 19 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE – PARTE 1

Níveis de Ruído dB(A)	ÁREAS					
	Zona de Silêncio		ZC e ZCS		Global	
	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%
0 a 45	0	0	0	0	0	0
45 a 60	7347	10	5865	10	13212	10
60 a 65	51082	68	40394	68	91476	68
65 a 70	15494	20	12094	21	27588	20
70 a 85	1471	2	693	1	2164	2
Total	75394	100	59046	100	134440	100

FONTE: A autora (2016).

TABELA 20 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE FAZENDA RIO GRANDE – PARTE 2

ÁREAS	Dentro do limite permitido	Acima do limite permitido
Zona de Silêncio	0,00%	100,00%
ZC e ZCS	78%	22%
Global	34%	66%

FONTE: A autora (2016).

Embora o terminal de Fazenda Rio Grande apresente intenso fluxo de passageiros, o mapa acústico do local permite perceber que os maiores níveis de ruído se devem na verdade à Rodovia Régis Bittencourt.

No lado oeste do terminal, predominam casas baixas ao invés de edificações. Adicionalmente, há terrenos com uma porcentagem maior de área verde do que de construções. Tais constatações justificam os níveis de pressão sonora mais reduzidos na área do mapa correspondente a essa região, pelo mesmo motivo explicado no item 5.6.

## 5.8 TERMINAL DE PINHAIS

O Apêndice 07 contém o mapa de poluição sonora para o Terminal de Pinhais. Nesta cidade da RMC, a lei referente a ruídos é a de número 220/1997. Como esta lei apenas define a existência de Zonas de Silêncio, mas não determina os limites de emissões, para o presente estudo foi considerado o valor de 55 dB(A), adotado em Curitiba. Além disso, devido a não atualização da legislação sobre poluição sonora de Pinhais com o novo zoneamento do município (de 2011), optou-se por adotar para as zonas Central, Especial Central e de Restrição a Ocupação o limite de 75 dB(A), que é aquele definido pela lei 220/1997 para “Demais Zonas e Setores Especiais” (vide Tabela 4). As tabelas 21 e 22 demonstram que 70% da área delimitada pela Zona de Silêncio está acima do limite. Surpreendentemente, toda a região localizada fora desta região está de acordo com os limites legais.

TABELA 21 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS  
- PARTE 1

Níveis de Ruído dB(A)	ÁREAS					
	Zona de Silêncio		ZC, SEC e ZRO		Geral	
	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%	(m <sup>2</sup> )	%
0 a 55	37689	30	32879	48	70568	36
55 a 60	71666	58	20150	29	91816	48
60 a 65	13110	11	13442	20	26552	14
65 a 75	1452	1	2100	3	3552	2
75 a 85	4	0	4	0	8	0
Total	123921	100	68575	100	192496	100

FONTE: A autora (2016).

TABELA 22 - ANÁLISE DE POLUIÇÃO SONORA NO ENTORNO DO TERMINAL DE PINHAIS  
– PARTE 2

ÁREAS	Dentro do limite permitido	Acima do limite permitido
Zona de Silêncio	30%	70%
ZC, SEC e ZRO	100%	0%
Global	55%	45%

FONTE: A autora (2016).

Como mostra a tabela 21, ao todo 45% do entorno do terminal de Pinhais poderia ser classificada como poluída. Sendo assim, de todas as áreas no entorno de equipamentos urbanos estudados no presente projeto, aquela que está em melhores condições no que diz respeito à poluição sonora é a que circunda o terminal de Pinhais. Como a região no entorno deste terminal é predominantemente residencial e com pouquíssimos prédios, a reflexão sonora devido a edifícios pode ser considerada como não relevante. Os níveis de ruído mais elevados são observados principalmente na avenida Camilo de Lellis, o que pode ser explicado pela frenagem de veículos em pontos de ônibus, pelo comportamento do tráfego devido a sinaleiros, entre outros; e na avenida Ayrton Sena da Silva, localizada próxima ao trilho de trem. As medições feitas no terceiro raio percorrido no entorno do terminal de Pinhais coincidiram com a passagem do trem de cargas, cuja buzina pode ser a justificativa dos maiores níveis de pressão sonora nessa região.

## 5.9 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Além dos fatores discutidos dos itens 5.2 ao 5.9, para estudar como uma região é afetada por ruídos, outros fenômenos podem ser levados em consideração, como por exemplo, as condições meteorológicas. Segundo Fiedler (2013), a temperatura e a umidade influenciam a densidade do ar, que é o meio pelo qual as ondas sonoras se propagam. Além disso, outro fator meteorológico importante aqui é o vento. Os pontos localizados a jusante da direção do vento estão, via de regra, sob maiores níveis de pressão sonora (FIEDLER, 2013). No uso de smartphones não há a presença de algum dispositivo que possa moderar a influência do vento (PEREIRA, 2013).

## 6 CONCLUSÃO

A poluição sonora, intensificada nos últimos anos, pode trazer uma série de prejuízos à saúde do homem, à biota, as estruturas físicas, entre outros. Assim, a análise de ruídos, amparada pelo próprio Plano Diretor de Curitiba, torna-se necessária e relevante. Uma ferramenta de gestão especialmente interessante aqui está na geração de mapas de ruído, que permitem a visualização do cenário de exposição da população a esse problema ambiental. Embora a metodologia clássica de elaboração desses mapas envolva o uso de sonômetros e *softwares* comerciais, uma alternativa consiste na aplicação dos conceitos de *Volunteered Geographic Information* – VGI, no uso de *smartphones* como sensores de ruídos, e de técnicas de interpolação disponibilizadas por *softwares* livres.

O desenvolvimento do presente projeto permitiu uma avaliação da utilização do aplicativo *NoiseTube*, o qual, a partir de conceitos de VGI e do uso do interpolador IDW disponibilizado pelo programa QGIS, permitiu a elaboração de mapas de ruído ao redor de sete equipamentos urbanos da RMC. Consequentemente, também foi possível analisar o cenário atual de poluição sonora na área de estudo.

Embora a acurácia do uso de um *smartphone* como sensor de ruído deva ser aprimorada, sua aplicação provou ser uma alternativa viável e adequada para a análise de exposição de uma população à poluição sonora. É essencial reafirmar aqui que neste projeto as legislações serviram como parâmetro; no entanto, para a aplicação efetiva e detalhada de tais leis, medições baseadas em metodologias oficiais e controladas devem ser observadas.

Através dos mapas gerados com base nos dados medidos e georreferenciados observou-se que possivelmente há uma relação entre fatores como verticalização de áreas urbanas, inclinação das vias, composição do tráfego e fluxo de veículos, e os níveis de pressão sonora. Adicionalmente, a ida a campo mostrou que os níveis de ruído são sensíveis à forma como cada motorista dirige e às condições mecânicas em que se encontram os veículos.

Recomenda-se que, assim como já realizado em outros países, pesquisas sejam desenvolvidas com a finalidade de comparar os resultados obtidos a partir de

*smartphones* e de métodos convencionais. Aconselha-se, ainda, que sejam desenvolvidas políticas públicas de divulgação da existência dessa alternativa envolvendo VGI, de modo que mais pessoas possam colaborar com dados, e mapas mais acurados possam ser feitos. O cidadão deve ter ciência da situação em que se encontra; e o uso de VGI e consequente democratização de dados ambientais torna isso possível.

## 7 REFERÊNCIAS

AKINTUYI, A. O. et al. GIS-Based assessment and mapping of noise pollution in Bariga area of Lagos State, Nigeria. **Sokoto Journal of the Social Sciences**, 4, p. 154-168, 2014.

ARIZA-VILLAVERDE, A. B.; JIMÉNEZ-HORNERO, F. J.; RAVÉ, E. G. A.B. Influence of urban morphology on total noise pollution: Multifractal description. **Science of the Total Environment** 472, p. 1-8, 2014, nov./2013. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713012357>>. Acesso em: 31 out. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Avaliação do Ruído em Áreas Habitadas visando o Conforto da Comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Níveis de Ruído para Conforto Acústico. Rio de Janeiro, 1987.

BALZAN, K. L. **Avaliação do ruído de tráfego veicular em área central de Chapecó – SC**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

BECKER M. et al. Awareness and Learning in Participatory Noise Sensing. **PLoS ONE**, v. 8, n. 12, p.1-12 , 2013. DOI:10.1371/journal.pone.0081638.

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

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação a aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2 set. 1981.

CANTIERI et al.. Elaboração de um mapa de ruído para a região central da cidade de Curitiba – PR. **Revista Produção On Line**. Santa Catarina, v. X, n. 1, p. 71-95, 2010. Disponível em: < <https://producaoonline.org.br/rpo/article/download/239/576>> Acesso em: 09 jun. 2016.

CENTRAL BRASILEIRA DE NOTÍCIAS – CURITIBA (CBN Curitiba). **Greve**: Transporte tem operação parcial e URBS pede na Justiça cumprimento da frota mínima. 12 jan. 2016. Disponível em: <<https://cbncuritiba.com/2016/01/12/greve-transporte-tem-operacao-parcial-e-urbs-pede-na-justica-cumprimento-da-frota-minima/>>. Acesso em: 17 jun. 2016.

CHEPESIUK, R. Decibel Hell. **Environmental Health Perspectives**. V. 113, n. 1, p. 34-41, jan./ 2005. Disponível em <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1253729/pdf/ehp0113-a00034.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2016.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), Resolução 002, de 8 de março de 1990b. Dispõe sobre o Programa Nacional de Educação e Controle da Poluição Sonora – <<SILÊNCIO>>. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 63, 2 abr. 1990b. Seção 1, p. 6408.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução 001, de 8 de março de 1990a. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 63, 2 abr. 1990a. Seção 1, p. 6408.

COORDENAÇÃO DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA (COMEC). **Apresentação**. Disponível em: <<http://www.comec.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=108>>. Acesso em: 04 jun. 2016.

CROWDSOURCING. In: Merriam-Webster. Retirado de < <http://www.merriam-webster.com/dictionary/crowdsourcing>>. Acesso em: 13 maio 2016.

CURITIBA. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – Setor de Geoprocessamento. **Mapa: Zoneamento Consolidado – Lei 9.800/2000 e legislações complementares**. Curitiba: IPPUC, 2015b. Escala 1:20.000. Disponível em: <<http://www.ippuc.org.br/>>. Acesso em 01 out. 2016.

CURITIBA. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba – Setor de Geoprocessamento. **Downloads**. Curitiba, 2016. Disponível em: <<http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>>. Acesso em: 18 out. 2016.

CURITIBA. 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. **Diário Oficial do Município**, Curitiba, 2002. Disponível em: <[http://www.cmc.pr.gov.br/wspl/sistema/BibLegVerForm.do?select\\_action=&popup=s&chamado\\_por\\_link&nor\\_id=11548&PESQUISA](http://www.cmc.pr.gov.br/wspl/sistema/BibLegVerForm.do?select_action=&popup=s&chamado_por_link&nor_id=11548&PESQUISA)>. Acesso em: 06 jun 2016.

CURITIBA. Lei nº 13.909 de 19 de dezembro de 2011. Aprova a Operação Urbana Consorciada Linha Verde, estabelece diretrizes urbanísticas para a área de influência da atual Linha Verde, desde o bairro Atuba até os bairros Cidade Industrial de Curitiba – CIC E Tatuquara, cria incentivos por meio de instrumentos de política urbana para sua implantação, institui o grupo gestor, a comissão executiva e dá outras providências. **Diário Oficial do Município**, Curitiba, PR, 20 dez. 2013. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2011/1390/13909/lei-ordinaria-n-13909-2011->>. Acesso em 18 jun. 2016.

CURITIBA. Lei nº 14.771 de 17 de dezembro de 2015. Dispõe sobre a revisão do Plano Diretor de Curitiba de acordo com o disposto no art. 40, §3º, do Estatuto da Cidade, para orientação e controle do desenvolvimento integrado do Município. Curitiba, 2015a. Disponível em: < <http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2015/00175701.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2016.

CURITIBA. Lei nº 9800/2000, de 03 de janeiro de 2000. Dispõe sobre zoneamento, uso e ocupação do solo no município de Curitiba e dá outras providências. Curitiba, 2000. Disponível em: <<http://multimidia.curitiba.pr.gov.br/2014/00146666.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2016.

D'HONDT, E.; STEVENS, M.; JACOBS, A. Participatory noise mapping works! An evaluation of participatory sensing as an alternative to standard techniques for environmental monitoring. **Pervasive and Mobile Computing**, v. 9, n.5, p. 681-694, 2012. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/232701793\\_Participatory\\_noise\\_mapping\\_works\\_An\\_evaluation\\_of\\_participatory\\_sensing\\_as\\_an\\_alternative\\_to\\_standard\\_techniques\\_for\\_environmental\\_monitoring](https://www.researchgate.net/publication/232701793_Participatory_noise_mapping_works_An_evaluation_of_participatory_sensing_as_an_alternative_to_standard_techniques_for_environmental_monitoring)>. Acesso em: 02 maio 2016.

DAVIS JÚNIOR, C.A.; VELLOZO, H.S.; PINHEIRO, M.B. A Framework for Web and Mobile Volunteered Geographic Information Applications. In GEOINFO, 14, 2013, Campos do Jordão. **Proceedings...** Campos do Jordão, Brasil, 2013. Disponível em <[http://www.geoinfo.info/proceedings\\_geoinfo2013.split/paper16.pdf](http://www.geoinfo.info/proceedings_geoinfo2013.split/paper16.pdf)>. Acesso em: 26 maio 2016.

DEPARTAMENTO DE FÍSICA – UFPR. Manual de experimentos para disciplina de Física Experimental I (CF063), Setor A – Mecânica, Acústica e Termodinâmica. Curitiba, 2010. 52 p.

ENGEL, M.S. **Caracterização da poluição sonora, através de medições, mapeamentos e entrevistas de percepção sonoras na Linha Verde em Curitiba – Paraná**. 194 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

EUROPEAN COMMISSION. Environment – **Noise**. Retirado de: <[http://ec.europa.eu/environment/noise/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/noise/index_en.htm)>. Acesso em: 01 maio 2016.

FAZENDA RIO GRANDE. Lei complementar nº 06 de 15 de setembro de 2006. Dispõe sobre o zoneamento de uso e ocupação do solo urbano do município de Fazenda Rio Grande e dá outras providências. Fazenda Rio Grande, 2006. Disponível em < <http://c-mara-municipal-de-fazenda-rio-grande.jusbrasil.com.br/legislacao/348384/lei-complementar-6-06#art-11>>. Acesso em 19 jun. 2016.

FAZENDA RIO GRANDE. Lei complementar nº 80/2013. Altera dispositivos da Lei complementar nº 6, de 15 de setembro de 2006 e dá outras providências. Fazenda Rio Grande, 2013a.

FAZENDA RIO GRANDE. Lei nº 1.079 de 26 de junho de 2015. Altera o anexo I da Lei Municipal nº 851, de 16 de dezembro de 2011. Fazenda Rio Grande, 2015.

FAZENDA RIO GRANDE. Lei nº 861 de 16 de dezembro de 2011. Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público, e dá outras providências. Fazenda Rio Grande, 2011.

FAZENDA RIO GRANDE. Secretaria Municipal de Urbanismo. **Mapa de zoneamento.** Fazenda Rio Grande, SMU, 2013b. Disponível em <[http://www.fazendariogrande.pr.gov.br/wp-content/uploads/2016/04/MAPA-ZONEAMENTO\\_E\\_SISTEMA\\_VIARIO.pdf](http://www.fazendariogrande.pr.gov.br/wp-content/uploads/2016/04/MAPA-ZONEAMENTO_E_SISTEMA_VIARIO.pdf)>. Acesso em 17 jun. 2016.

FIEDLER, P.E.K. **Poluição sonora nos eixos estruturais de transporte da cidade de Curitiba – PR.** 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

FILHO, J.J.S. **Avaliação do ruído urbano na cidade de Campo Grande/ MS.** 157f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS, 2012.

FRANCIS, E.D. et al. Noise pollution alters ecological services: enhanced pollination and disrupted seed dispersal. **Proceedings of the Royal Society B**, 279, p. 2727-2735, mar./ 2012. Disponível em: <<http://rspb.royalsocietypublishing.org/>>. Acesso em: 07 maio 2016.

G1 PR. Tarifa de ônibus em Curitiba e Região está mais cara a partir desta segunda. 02 fev. 2016. Disponível em: < <http://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2016/02/tarifa-de-onibus-em-curitiba-e-regiao-esta-mais-cara-partir-desta-segunda.html>>. Acesso em: 07 jun. 2016.

GARAVELLI, S.L. et al.. Mapa de ruído como ferramenta de gestão da poluição sonora: Estudo De Caso De Águas Claras – DF. **PLUriS**, 2010. Disponível em < <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper377.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

GERGES, S. N. Y. Ruído: Fundamentos e Controle. 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 676p., 2000.

GERGES, S. N. Y. Ruído: Fundamentos e Controle. Florianópolis. 1992. 73. Disponível em: <<http://domino.cmc.pr.gov.br/contlei.nsf/>>. Acesso em: 01 jan. 2009.

GOINES, L.; HAGLER, L. Noise Pollution: A Modern Plague. **Southern Medical Journal**. V 100, p. 287-294, mar./ 2007. Disponível em <<http://www.nonoise.org/library/smj/smj.htm>>. Acesso em: 07 maio 2016.

GOODCHILD, M. Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0. **International Journal of Spatial Data Infrastructures Research**, V.

2, p. 24-32, 2007b. Disponível em: < <http://ijsdir.jrc.ec.europa.eu/index.php/ijsdir/article/viewFile/28/22>>. Acesso em: 26 maio 2016.

GOODCHILD, M. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. **GeoJournal**, 69, p. 211–21, 2007a. Disponível em: < <http://web.simmons.edu/~benoit/infovis/Goodchild.pdf> > Acesso em: 25 maio 2016.  
Google Maps. Disponível em: < <https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em 16 jun. 2016.

Google My Maps. Disponível em: < <https://www.google.com/maps/about/mymaps/>>. Acesso em: 10 jun. 2016.

GUEDES, I. C. M.; BERTOLI, S. R. Mapa acústico como ferramenta de avaliação de ruído de tráfego veicular em Aracaju – Brasil. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 5, n. 2, p. 40-51, 2015. Disponível em: <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/parc/article/view/8634537/2458>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

HAGEN, M.; HUBER, L.; KAHLERT, J. Acoustic School Desing. International Forum Acusticum, Sevilha, Proceedings, CD-ROM, Sevilha, 2002.

HAKLAY, M. Citizen Science And Volunteered Geographic Information – Overview And Typology Of Participation. In: SUI, D.Z., ELWOOD, S. M.F. GOODCHILD (ED.), 2013. Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory And Practice. Berlin: Springer, p. 105-122 DOI: 10.1007/978-94-007-4587-2\_7

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

HASSAL, J.J.; ZAVERI, K. Acustic Noise Measurement. 4 ed. Dinamarca: Brüel & Kjaer Magazine, 280p., 1979.

HOHMANN, SETZER, WEHLING. Bauphysikalische formeln und tabellen. 4 ed München: Wolters Kluwer Deutschland GmbH, 2004.

HOWE, J. (2006). The Rise of Crowdsourcing. **Wired Magazine**, June 2006. Disponível em: <<http://www.wired.com/2006/06/crowds/>>. Acesso em: 26 maio 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Paraná – Curitiba**. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=410690> >. Acesso em: 04 jun. 2016a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Mudança do Referencial. **FAQ**. Disponível em: <

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/pmrg/faq.shtm#2>>. Acesso em 29 ago. 2016b.

JESUS, A.D.S. **Impacto ambiental sonoro sobre a cidade de Águas Claras, Brasília-DF, com a construção da Linha Verde**. 17f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Naturais) – Universidade de Brasília – campus Planaltina, Planaltina, DF, 2013.

KANG, J. *Urban sound environment*. New York, USA: Taylor & Francis, 2007.

KANG, J.; DU, Z. Sound field and acoustic comfort in library reading rooms. In: *International Congress on Sound and Vibration, 10, 2003, Stockholm. Proceedings...* Stockholm, Sweden, 2003.

KANHERE, S.S. Participatory Sensing: Crowdsourcing Data from Mobile Smartphones in Urban Spaces. In: *IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON MOBILE DATA MANAGEMENT*, 12, 2011. Disponível em: <[http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6068482&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs\\_all.jsp%3Farnumber%3D6068482](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6068482&url=http%3A%2F%2Fieeexplore.ieee.org%2Fxppls%2Fabs_all.jsp%3Farnumber%3D6068482)>. Acesso em 26 maio 2016.

KANJO. E. NoiseSPY: A Real-Time Mobile Phone Platform for Urban Noise Monitoring and Mapping. **Mobile Networks and Applications**, 2009. DOI 10.1007/s11036-009-0217-y.

KARDOUS, C. A.; SHAW, P. B. Do Sound Meter Apps Measure Noise Levels Accurately? **Sound & Vibration**, p. 10-13, 2015. Disponível em: <<http://www.sandv.com/downloads/1507kard.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2016.

KO, J.H.; CHANG, S. II; LEE, B.C.. Noise impact assessment by utilizing noise map and GIS: A case study in the city of Chungju, Republic of Korea. **Applied Acoustics**, v. 72, 2011, p. 544–550. DOI 10.1016/j.apacoust.2010.09.002

LIMA, C.A. Configuração urbana e o sistema BRT de Curitiba – Brasil. Investigando a qualidade espacial do entorno de terminais: uma metodologia em construção. [2015]. Disponível em: <[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80278/79BCN\\_DeAraujoCristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80278/79BCN_DeAraujoCristina.pdf?sequence=1&isAllowed=y)>. Acesso em: 01 jun. 2016.

MAISONNEUVE, N. et al. NoiseTube: Measuring and mapping noise pollution with mobile phones. In: *INTERNATIONAL ICSC SYMPOSIUM, 4, 2009, Thessaloniki. Proceedings...* Thessaloniki: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 215-228. Disponível em: <<https://www.csl.sony.fr/downloads/papers/2009/maisonneuve-09b.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2016.

MAISONNEUVE, N.; STEVENS, M.; STEELS, L. Measure and map noise pollution with your mobile phone. IN: *ANNUAL CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN*

COMPUTING SYSTEMS, n. 27, 2009, Boston. **Proceedings...** Boston, 4-9 April 2009, p. 78-82. Disponível em <<https://www.csl.sony.fr/downloads/papers/2009/maisonneuve-09a.pdf>>. Acesso em: 9 jun 2016.

MARTÍ et al. Mobile application for noise pollution monitoring through gamification techniques. **Entertainment Computing – ICEC**, Lecture Notes in Computer Science, v. 7522, p. 562 – 571, 2012. Disponível em: <[http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-33542-6\\_74](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-33542-6_74)>. Acesso em: 26 abr. 2016.

MARTÍ, I. et al. A comparative study on VGI and professional noise data. In: AGILE'2014 INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, 2014, Castellón. **Proceedings...**, June, 3-6, 2014. Disponível em: <[https://agile-online.org/Conference\\_Paper/cds/agile\\_2014/agile2014\\_107.pdf](https://agile-online.org/Conference_Paper/cds/agile_2014/agile2014_107.pdf)>. Acesso em: 29 abr. 2016.

MEHDI, M. R., et al.. Spatio-temporal patterns of road traffic noise pollution in Karachi, Pakistan. *Environment International*, 37, p. 97-104, 2010. doi: 10.1016/j.envint.2010.08.003.

MILLER, Steven J. **The Method of least squares**, [200-]. 7f. Notas de aula: Departamento de matemática, Brown University

MURPHY, E.; KING, E. Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. **Applied Acoustics**, 106, p. 16-22, 2015. DOI: 10.1016/j.apacoust.2015.12.012.

MURPHY, E.; KING, E.A. Testing the accuracy of smartphones and sound level meter applications for measuring environmental noise. **Applied Acoustics**, 106, p. 16–22, 2016. DOI: 10.1016/j.apacoust.2015.12.012.

NETO, B. Sistema de transporte de Curitiba tem 401 articulados e biarticulados Volvo. 19 jan. 2013. Disponível em: <<http://www.parana-online.com.br/canal/automoveis/news/522195/?noticia=SISTEMA+DE+TRANSPORTE+DE+CURITIBA+TEM+401+ARTICULADOS+E+BIARTICULADOS+VOLVO>>. Acesso em 04 jun. 2016.

NoiseTube: Guia para usuário do celular. Software Languages Lab. 08 maio 2015b. Disponível em: <<http://www.noisetube.net/downloads/GuiadoUsuarioMovel.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2016.

NoiseTube: Web User Guide. Software Languages Lab. 08 maio 2015a. Disponível em: <<http://www.noisetube.net/downloads/WebUserGuide.pdf>>. Acesso em 04: maio 2016.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 2002/49/CE: Relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente. Luxemburgo, 2002.

PAZ, E.C. **Estudo de um modelo de avaliação e predição acústica para o ruído de tráfego**. 458p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil), Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

PAZ, E.C.; ZANNIN, P.H.T. Avaliação da poluição sonora no Campus III – Campus Centro Politécnico e Campus Jardim Botânico – da Universidade Federal do Paraná – Curitiba, **PR. RA´E GA**, Curitiba, 26, p.05-34, 2012. Disponível em <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/raega/article/view/30039/19422>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

PEREIRA, P. S. C. **A utilização de smartphones na monitorização do ruído**. 162f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente, perfil de Gestão e Sistemas Ambientais) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte de Caparica, 2013.

PINHAIS. Lei nº 1.233 de 30 de setembro de 2011. Dispõe sobre o Zoneamento, o Uso e a Ocupação do Solo no município de Pinhais. Pinhais, 2011a. Disponível em: <[http://www.pinhais.pr.gov.br/aprefeitura/secretariaseorgaos/urbanismo/uploadAddress/Lei1233-11\\_Zonamento,\\_Uso\\_e\\_Ocupacao\\_do\\_Solo\[4271\].pdf](http://www.pinhais.pr.gov.br/aprefeitura/secretariaseorgaos/urbanismo/uploadAddress/Lei1233-11_Zonamento,_Uso_e_Ocupacao_do_Solo[4271].pdf)>. Acesso em 18 jun. 2016.

PINHAIS. Lei nº 220 de 10 de setembro de 1997. Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. Pinhais, 1997. Disponível em: <<http://camara-municipal-de-pinhais.jusbrasil.com.br/legislacao/389547/lei-220-97>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

PINHAIS. Prefeitura Municipal de Pinhais. **Mapa de Zoneamento – Uso e Ocupação do Solo**. Pinhais, PMP, 2011b. Escala 1: 12.500. Disponível em:<<http://www.pinhais.pr.gov.br/aprefeitura/secretariaseorgaos/urbanismo/FreeComponent501content6065.shtml>>. Acesso em 16 jun. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **Ippuc apresenta diretrizes para revisão da Lei de Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo**. 18 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/ippuc-apresenta-diretrizes-para-revisao-da-lei-de-zoneamento-uso-e-ocupacao-do-solo/39208>>. Acesso em: 18 jun. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **Meio Ambiente – Fiscalização atendeu 1634 reclamações de poluição sonora este ano**. 29 dez. 2014. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/noticias/fiscalizacao-atendeu-1634-reclamacoes-de-poluicao-sonora-este-ano/35176>>. Acesso em: 15 maio 2016.

QGIS. **Applications**. Disponível em: <[http://www.qgis.org/pt\\_BR/site/about/features.html#qgis-desktop](http://www.qgis.org/pt_BR/site/about/features.html#qgis-desktop)>. Acesso em: 18 jun. 2016.

QUADROS, F. S. **Avaliação do ruído ambiental gerado por veículo de utilidade pública**. Estudo de caso: caminhão de coleta de resíduos domiciliar. 144f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Mecânica) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2004.

RAMOS, S. **Re: Terminais de ônibus de Curitiba – Dados** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <alaisescw@hotmail.com>. 25 ago. 2016.

RANA, R. et al. Ear-Phone: A Context-Aware Noise Mapping using Smart Phones. **Elsevier**, October 17, 2013. Disponível em: < <http://arxiv.org/pdf/1310.4270v1.pdf>> Acesso em: 28 maio 2016.

RANA, R.K. et al. Ear-Phone: An End-to-End Participatory Urban Noise Mapping System. In: ACM/IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATION PROCESSING IN SENSOR NETWORKS, 9, 2010, Stockholm. **Proceedings...** New York: ACM, 2010, p. 105-116. DOI 10.1145/1791212.1791226.

REGO, A. Q.; NIEMEYER, M. L. O uso da cartografia sonora na avaliação da transformação das paisagens sonoras devido a implementação do Plano Estratégico Urbano das Vargens – Rio de Janeiro, Brasil. In: Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, 3, 2014, São Paulo. Disponível em: < [http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/html/Artigos/SC/ORAL/SC-AS-021\\_REGO\\_NIEMEYER.pdf](http://www.anparq.org.br/dvd-enanparq-3/html/Artigos/SC/ORAL/SC-AS-021_REGO_NIEMEYER.pdf)>. Acesso em 01 abr. 2016.

SHIM, E. et al. Designing a Sustainable Noise Mapping System Based on Citizen Scientists Smartphone Sensor Data. **PLoS ONE** 11(9), p. 1-7, 2016. Disponível em < [https://www.researchgate.net/publication/308121739\\_Designing\\_a\\_Sustainable\\_Noise\\_Mapping\\_System\\_Based\\_on\\_Citizen\\_Scientists\\_Smartphone\\_Sensor\\_Data](https://www.researchgate.net/publication/308121739_Designing_a_Sustainable_Noise_Mapping_System_Based_on_Citizen_Scientists_Smartphone_Sensor_Data)>. Acesso em: 20 set. 2016.

SCHULTZ, T. J. Community Noise Rating. 2 ed. New York: **Elsevier Applied Science**, 415 p., 1972.

SCHWEIZER, I. et al. NoiseMap – Real-time participatory noise maps. In: SECOND INTERNATIONAL WORKSHOP ON SENSING APPLICATIONS ON MOBILE PHONES, 2011. Disponível em: <<http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/events/phonesense2011/papers/NoiseMap.pdf>>. Acesso em: 04 maio 2016.

SILVA, E.F.F. **Estudo do clima acústico nas proximidades de rodovias devido a implantação de um modal de transporte**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Transporte) - Departamento de Engenharia Ambiental e Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SILVA, E.F.F. **Estudo do clima acústico nas proximidades de rodovias devido a implantação de um modal de transporte**. 115 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2015.

SOARES, P. D. **Avaliação da poluição sonora ambiental na parte noroeste da cidade de Curitiba**. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

**SoundCity**. Disponível em: <  
<https://play.google.com/store/apps/details?id=fr.inria.mimove.quantifiedsequ&hl=en>>.  
 Acesso em 04: maio 2016.

SOUZA et al. Bê-a-bá da acústica arquitetônica: ouvindo a arquitetura. 1 ed. – Bauru, SP, 2003.

STEVENS, M.; D'HONDT. Crowdsourcing of Pollution Data using Smartphones. In: UBICOMP, 10, 2010, Copenhagen. **Proceedings...** Disponível em: <  
[ftp://soft.vub.ac.be/tech\\_report/2010/vub-tr-soft-10-15.pdf](ftp://soft.vub.ac.be/tech_report/2010/vub-tr-soft-10-15.pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2016.

SURIANO, M.T; SOUZA, L.C.L.; SILVA, A.N.R. Ferramenta de apoio à decisão para o controle da poluição sonora urbano. **Ciência & Saúde Coletiva**, 20(7), p. 2201-2210, 2015. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/csc/v20n7/1413-8123-csc-20-07-2201.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

Terminais de ônibus de Curitiba e Região Metropolitana. Disponível em: <  
<https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1b4-l651Z044pWo6llUXXNNqTWCg>>  
 Acesso em: 16 jun. 2016.

TORIJA, A. J.; RUIZ, D. P.; RAMOS, A. Influence of the type of route in the acoustic emission of different types of vehicles in traffic. In: International Congress on Acoustics, 19., 2007, Madrid. **Anais eletrônicos...** Madrid: IIE, 2007. Disponível em: <  
[http://b-dig.iie.org.mx/BibDig/P07-0829/ICA\\_07/fchrs/papers/env-08-015.pdf](http://b-dig.iie.org.mx/BibDig/P07-0829/ICA_07/fchrs/papers/env-08-015.pdf)>. Acesso em: 05 nov. 2011.

Urban Civics. **SoundCity App**. Disponível em < [urbancivics.com/soundcity\\_app.html](http://urbancivics.com/soundcity_app.html)>  
 Acesso em: 28 :abril 2016.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A. (URBS). **Rede Integrada de Transporte**. Disponível em: < <https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/transporte/rede-integrada-de-transporte>>. Acesso em: 04 jun. 2016a.

URBANIZAÇÃO DE CURITIBA S.A. (URBS). **Terminais de Ônibus**. Disponível em: <  
<https://www.urbs.curitiba.pr.gov.br/comunidade/terminais-de-onibus>>. Acesso em: 16 jun. 2016b.

VIJAYALAKSHMI, K.S. Noise Pollution. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND HEALTH, 3, 2003, Chennai, India. **Proceedings...** Chennai: Department of Geography, University of Madras and Faculty of Environmental Studies, York University, p. 597-603. Disponível em: <  
[http://www.yorku.ca/bunchmj/ICEH/proceedings/Vijayalakshmi\\_KS\\_ICEH\\_papepa\\_597t0603.pdf](http://www.yorku.ca/bunchmj/ICEH/proceedings/Vijayalakshmi_KS_ICEH_papepa_597t0603.pdf)>. Acesso em: 12 maio 2016.

WHEALE, A. The new politics of pollution. Manchester: Manchester University Press, 1992.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Acoustic measurement** - Local authorities, health and environment briefing pamphlet series. Geneva, 2000.

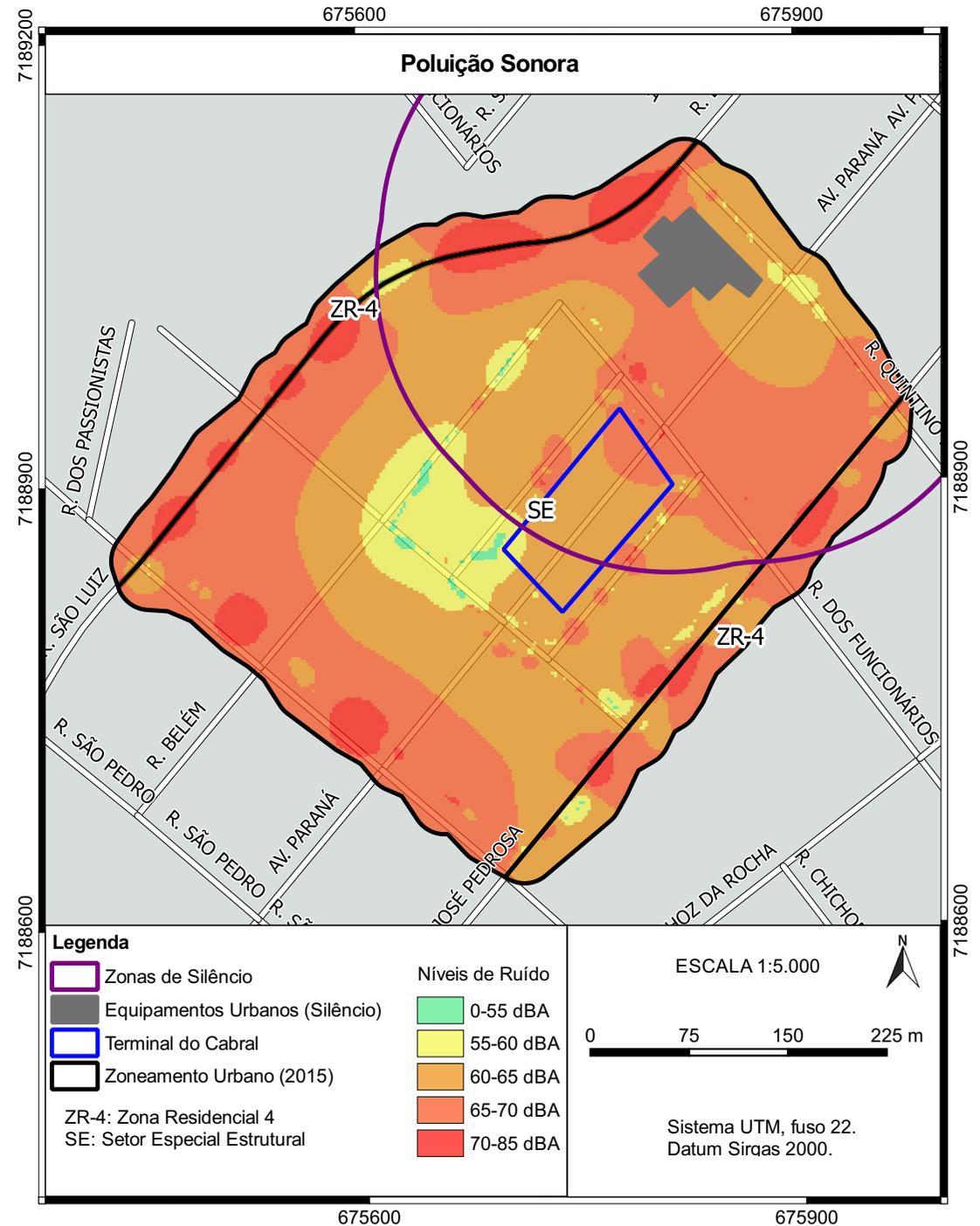
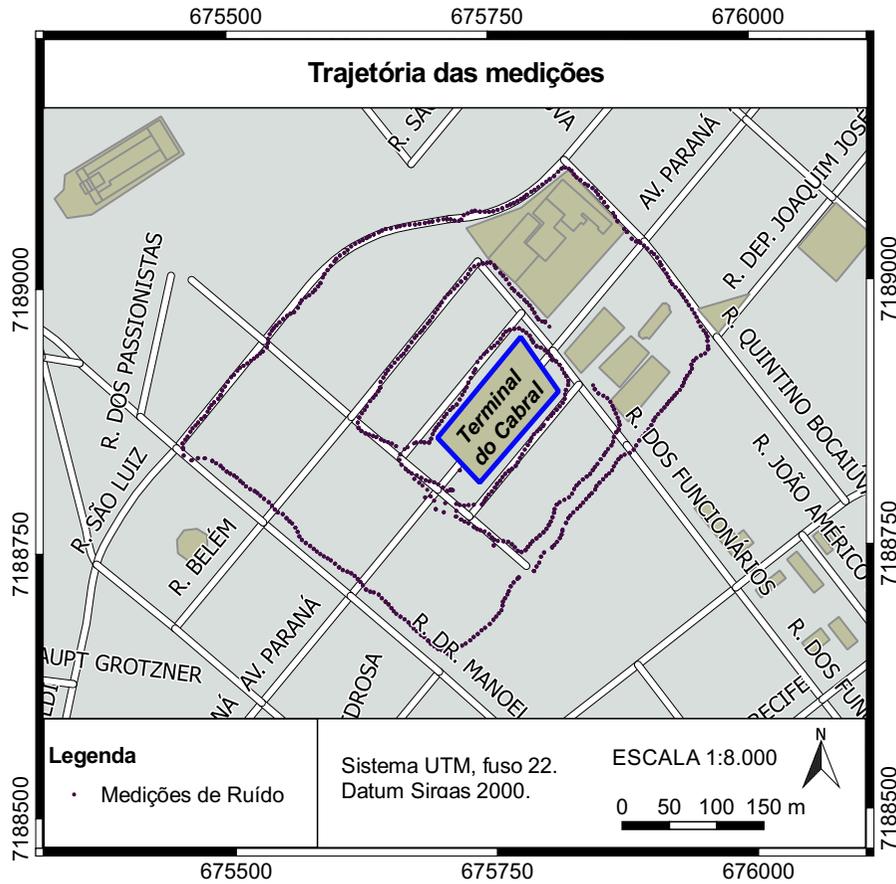
WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for Community Noise**. Londres, 1999.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Noise in schools**. Geneva, 2001.

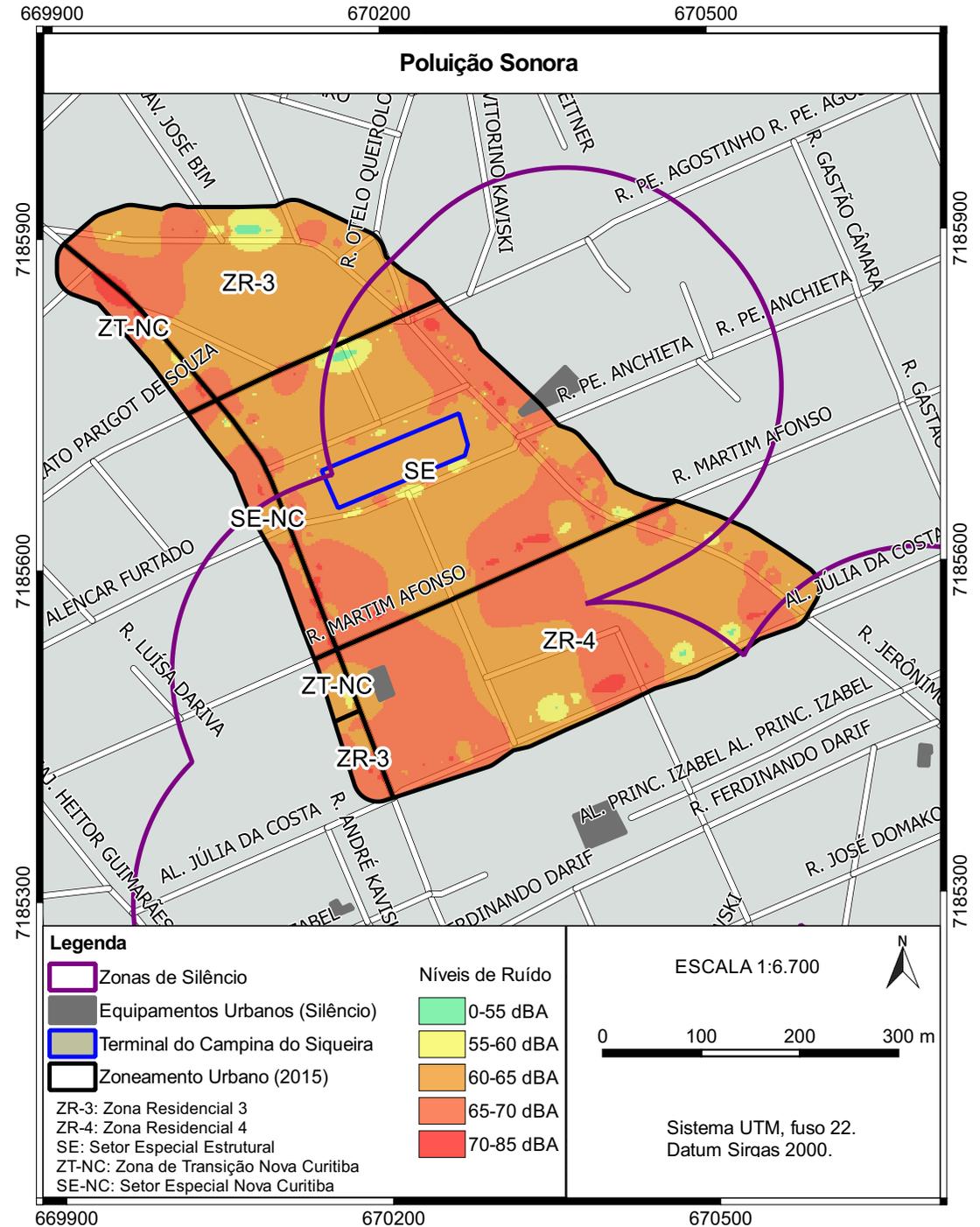
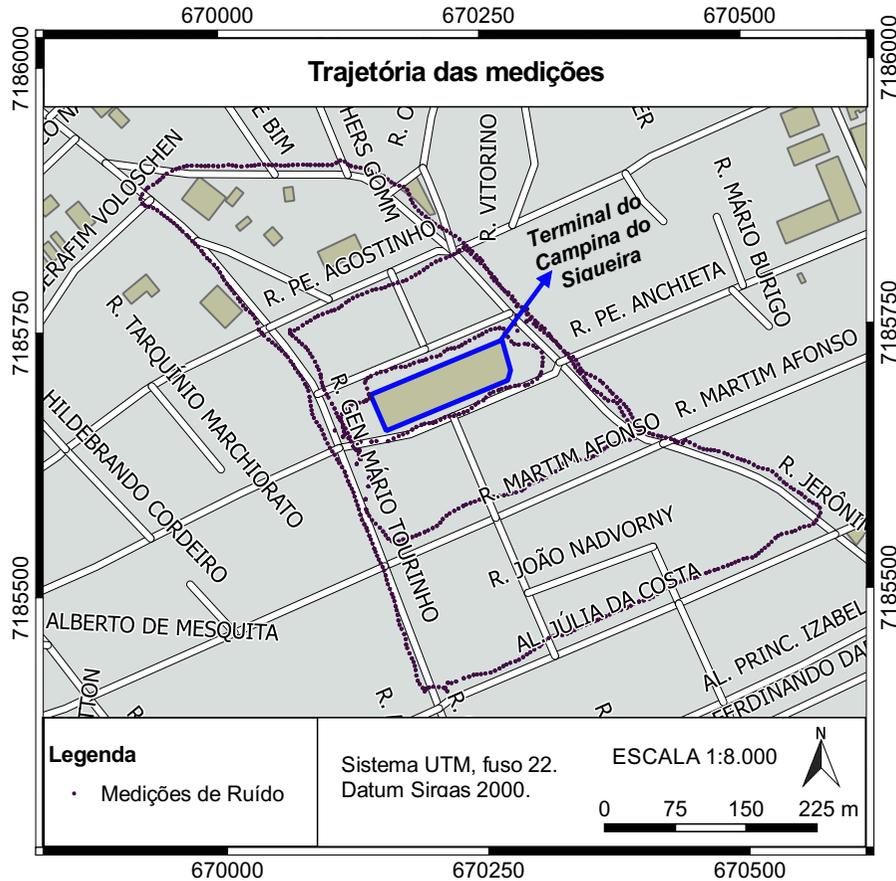
ZANNIN P. H. T.; CALIXTO A.; DINIZ F. B., Annoyance caused by urban noise to the citizens of the city of Curitiba, Brazil. **Revista de Saúde Pública**, 36(4), p. 521-524, 2002. Disponível em < <http://www.scielo.br/pdf/rsp/v36n4/11773.pdf>> Acesso em: 01 abr. 2016.

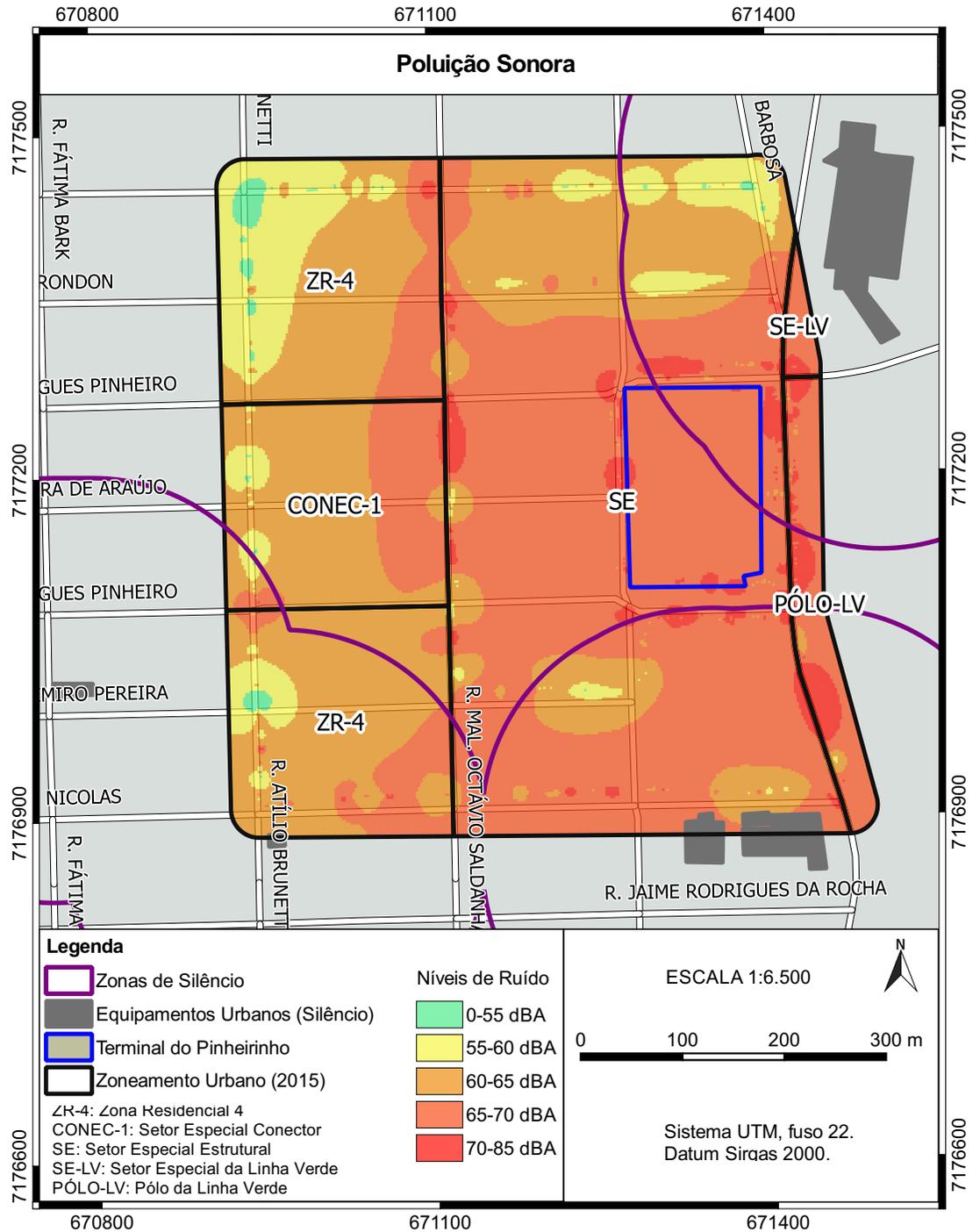
BABAK, O.; DEUTSCH, CV. Statistical approach to inverse distance interpolation. Stochastic **Environmental Research and Risk Assessment**, 23(5), p. 543-553, 2008. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/225753444\\_Statistical\\_approach\\_to\\_inverse\\_distance\\_interpolation](https://www.researchgate.net/publication/225753444_Statistical_approach_to_inverse_distance_interpolation)>. Acesso em: 20 set. 2016.

ZAPATA-RODRÍGUEZ, V. et al. Assessment of the RLS 90 calculation method for predicting road traffic noise in Colombian conditions. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, n. 75, p. 175-188, Jun. 2015. Disponível em: <<http://revistawww.redalyc.org/articulo.oa?id=43038630017>> . Acesso em: 15 abr. 2016.

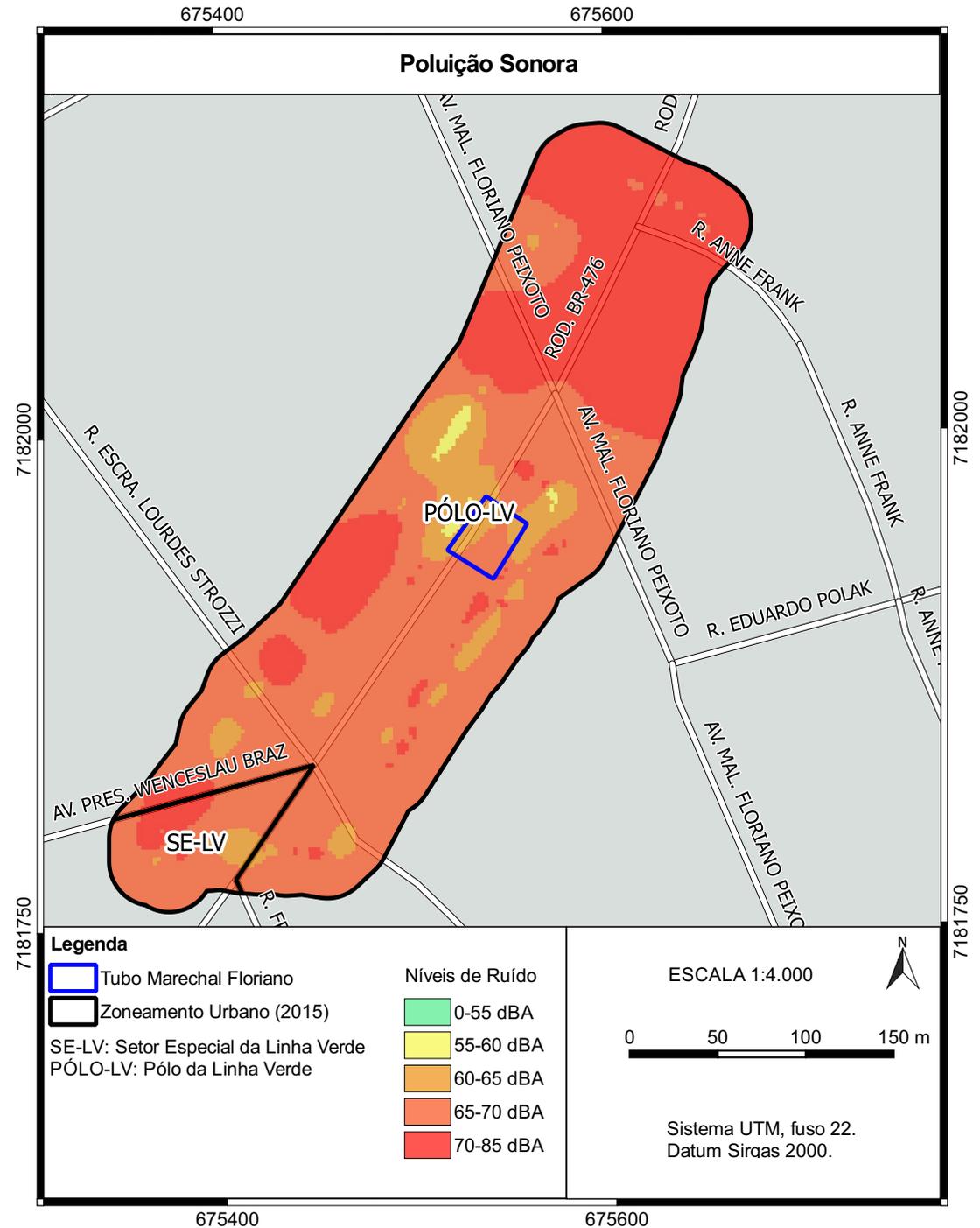


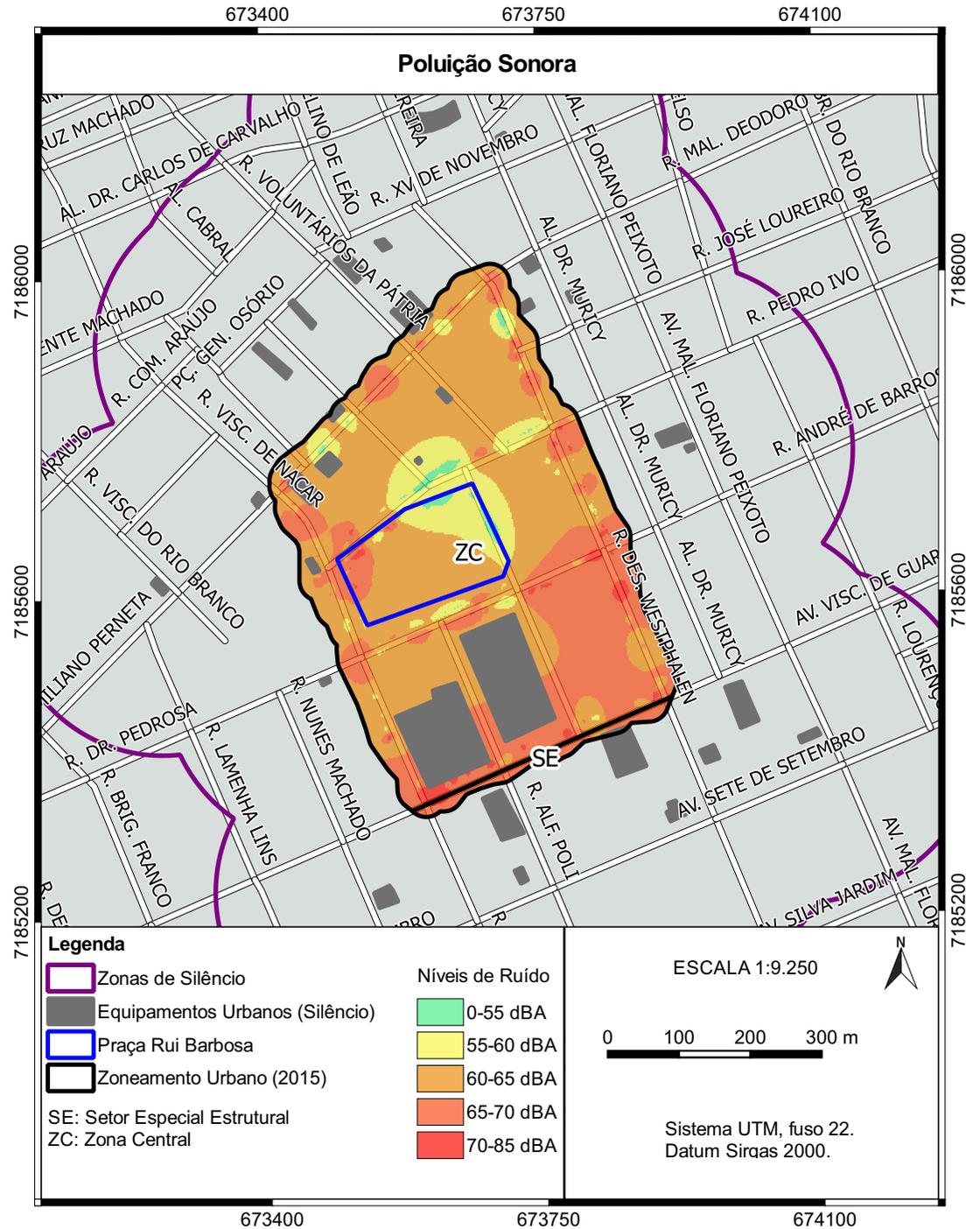
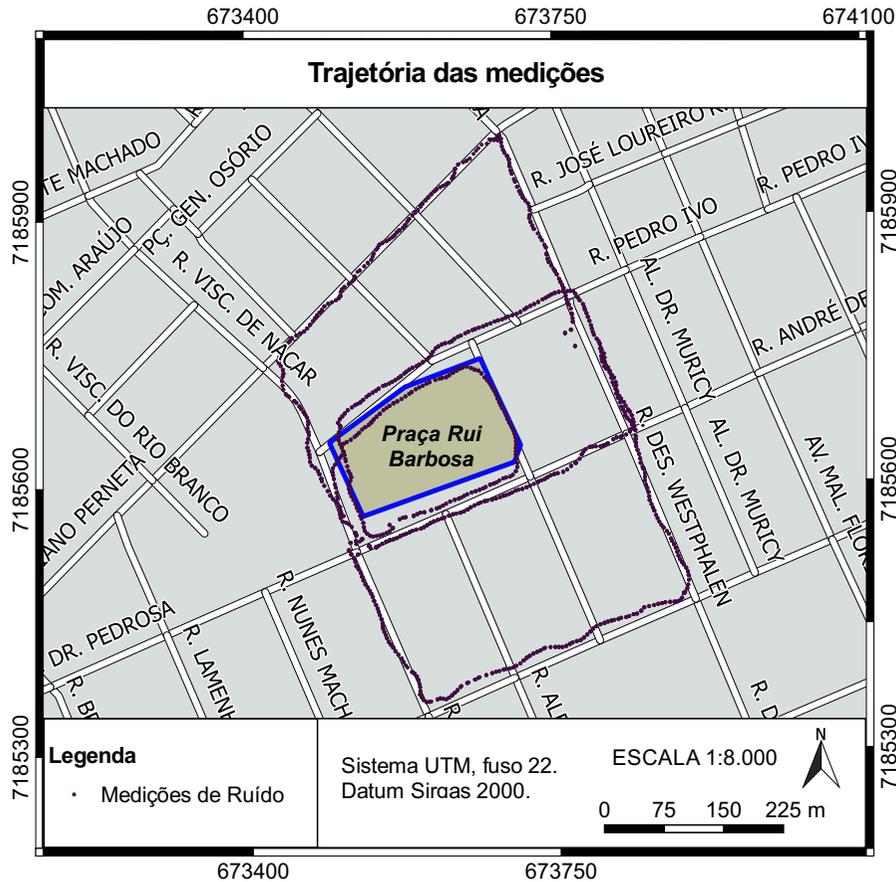
FONTE: Com dados de CURITIBA (2002), IBGE (2015), IPPUC (2016), OpenStreetMap (2016) e NoiseTube (2016).

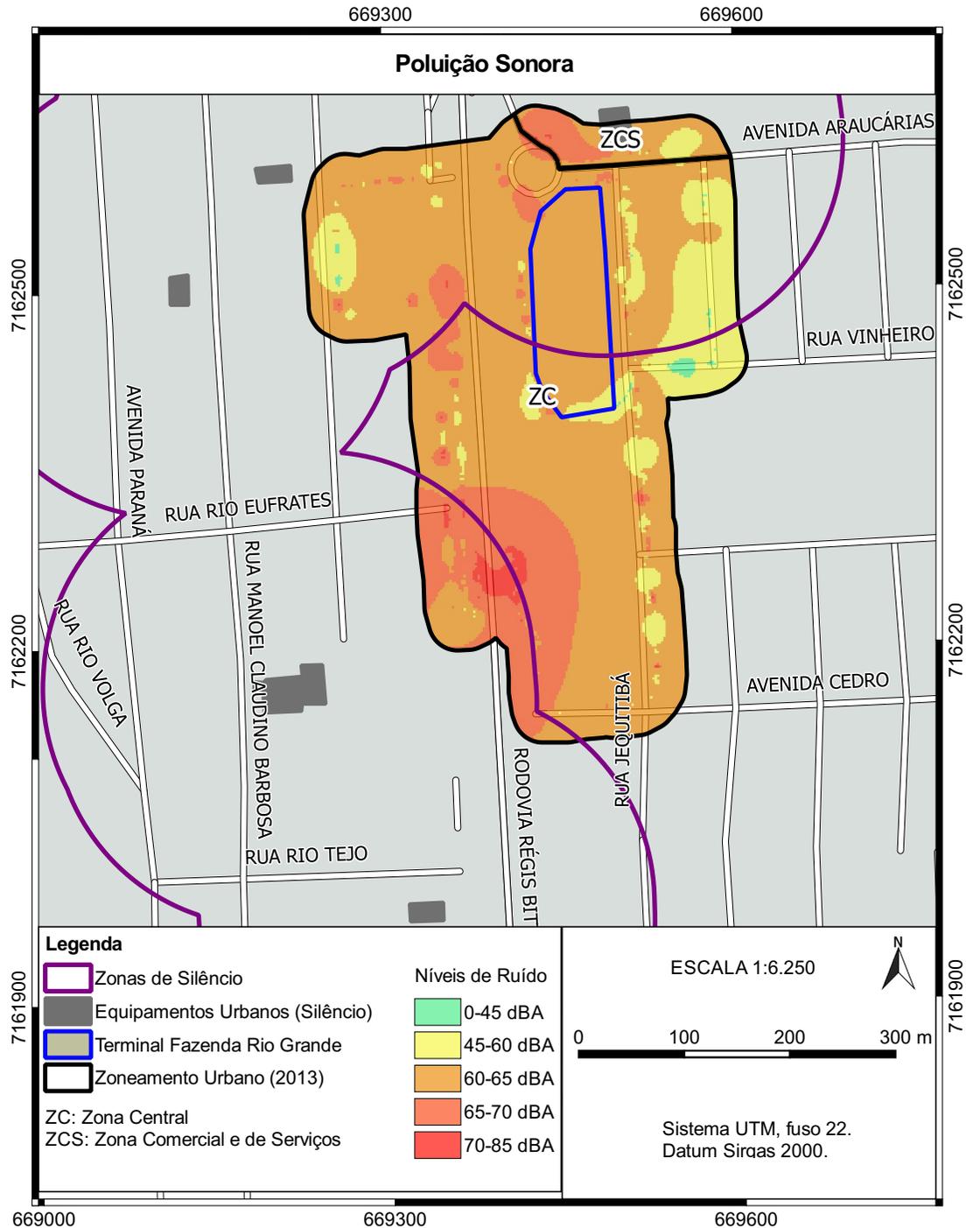
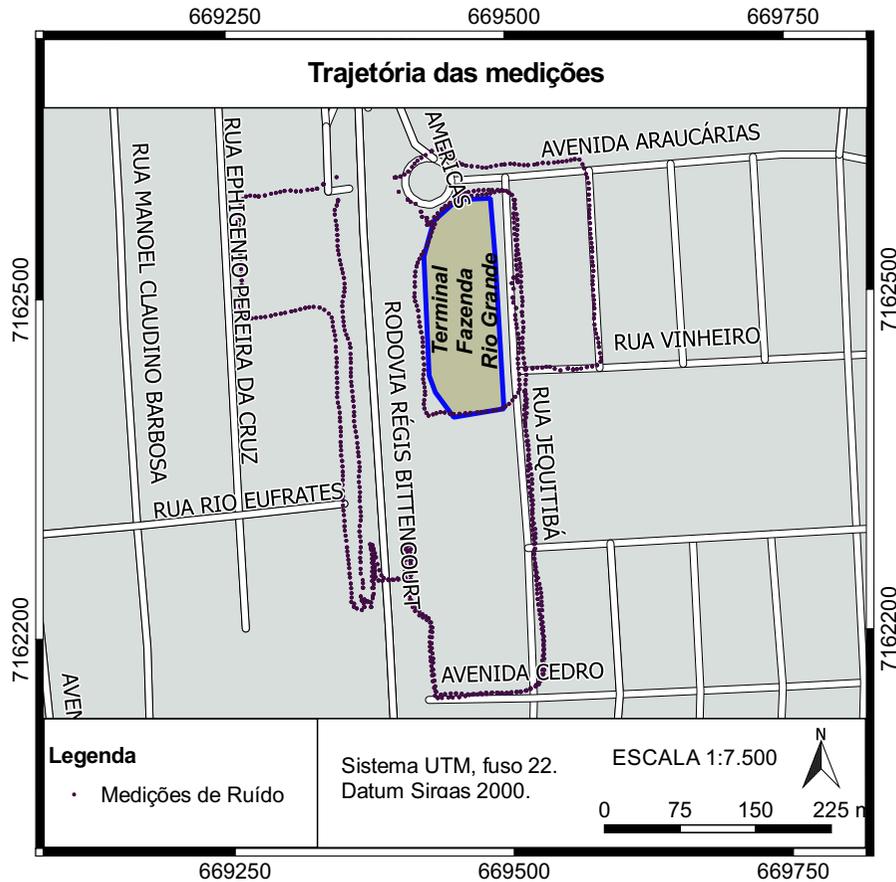




FONTE: Com dados de CURITIBA (2002), IBGE (2015), IPPUC (2016), OpenStreetMap (2016) e NoiseTube (2016).







FONTE: Com dados de FAZENDA RIO GRANDE (2011), FAZENDA RIO GRANDE (2013b), IBGE (2015), OpenStreetMap (2016) e NoiseTube (2016).

