

Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geografia

Lucas Saliba Santos

**Metodologia de caracterização e análise da poluição sonora para
fins de planejamento urbano**

Belo Horizonte
2020

Lucas Saliba Santos

Metodologia de caracterização e análise da poluição sonora para fins de planejamento urbano

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia – Geotecnologias e Geografia Aplicada

Orientadora: Ana Clara Mourão Moura

Belo Horizonte
2020

S237m
2020

Santos, Lucas Saliba.

Metodologia de caracterização e análise da poluição sonora para fins de planejamento urbano [manuscrito] / Lucas Saliba Santos. – 2020.

103 f., enc.: il. (principalmente color.)

Orientadora: Ana Clara Mourão Moura.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2020.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Bibliografia: f. 93-103.

1. Poluição sonora – Teses. 2. Processo decisório por critério múltiplo – Teses. 3. Planejamento urbano – Belo Horizonte (MG) – Teses. I. Moura, Ana Clara Mourão. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 711.4(815.1)

Logotipo UFMG	UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA	Logotipo PPGCC
------------------	--	-------------------

FOLHA DE APROVAÇÃO

Metodologia de caracterização e análise da poluição sonora para fins de planejamento urbano

LUCAS SALIBA SANTOS

Dissertação submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em GEOGRAFIA, como requisito para obtenção do grau de Mestre em GEOGRAFIA, área de concentração ANÁLISE AMBIENTAL.

Aprovada em 10 de agosto de 2020, pela banca constituída pelos membros:



Prof(a). Ana Clara Mourao Moura - Orientador
UFMG

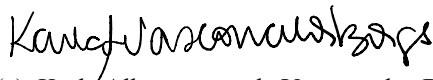

Prof(a). Wellington Lopes Assis

UFMG



Prof(a). Monica Amaral Haddad

Iowa State University



Prof(a). Karla Albuquerque de Vasconcelos Borges
PBH

Belo Horizonte, 10 de agosto de 2020.

*Dedico esse trabalho a minha Tia Jane
Mary Saliba, que nos deixou esse ano e
quem primeiro me ensinou a deixar-me
guiar pela vontade de aprender*

“Nem os princípios nem as ideias são inatas[...] Tudo o que pode ser inteligível pela compreensão humana, sendo, primeiro, a natureza das coisas, como elas são em si mesmas, suas relações e sua maneira de operar, ou, em segundo lugar, aquilo que o próprio homem deve fazer, como agente racional e voluntário para a consecução de qualquer fim, especialmente a felicidade, ou, em terceiro lugar, os meios pelos quais o conhecimento de um e de outro é alcançado e comunicado”

Ensaio acerca do Entendimento Humano
John Locke, 1689

Agradecimentos

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuem para o trilhar da minha caminhada, que tem seus desafios, mas que graças ao auxílio dos que me circundam sempre volta a encontrar seu eixo em algum momento.

A minha orientadora Ana Clara Mourão Moura, por ser um exemplo a todos que se dedicam à docência. Por seu apoio emocional e psicológico pelo qual eu jamais conseguirei demonstrar minha gratidão em palavras. Por sua infindável paciência e companheirismo que se fizeram presentes a mais de dez anos desde que tive a oportunidade de ser seu aluno durante a graduação e desde então ter me aceitado como seu pupilo ansioso por descobrir mais acerca do geoprocessamento.

A minha mãe, por ter me ensinado que o conhecimento é único tesouro que não nos pode ser tirado.

A Jucileia, amiga de todas as horas, sempre disponível para minhas ligações nos momentos de desamparo.

A todos os mestres que cruzaram meu caminho e compartilharam comigo seu conhecimento, sobretudo aqueles que primeiro me mostraram a possibilidade de utilizar geoprocessamento para mapear a poluição sonora.

Ao programa de Pós-Graduação em Geografia, sobretudo a secretária Márcia que sempre me mostrou o caminho das pedras nas questões burocráticas.

Resumo

O crescimento das cidades e da vida urbana no mundo resulta em fenômenos de espalhamento da malha urbana ou da densificação da ocupação, ambos resultando em demandas por novos espaços coletivos e individuais, serviços, infraestruturas de transporte e produção. Contudo, a oferta de condições de serviços e facilidades cria também impactos em vários aspectos do habitat urbano, em especial à paisagem sonora. Cabe aos planejadores urbanos e às administrações públicas criarem planos para a ocupação ordenada e tentar mitigar os efeitos colaterais negativos do crescimento das cidades, a fim de promover a elevação dos índices de qualidade de vida da população. A poluição sonora aparece como um dos principais problemas urbanos a serem enfrentados em ambientes que acumulam fontes de ruído tais como trânsito de veículos, atividades industriais e até mesmo atividades de lazer. Todavia, a identificação de todas as fontes geradoras de ruído e seus níveis de perturbação é complexa, dispendiosa e demanda a utilização de equipamentos específicos que podem tornar o mapeamento da paisagem sonora muito caro. Para que haja equilíbrio entre a necessidade da ação e as condições de ação cabe, muitas vezes, apoiar o levantamento de dados de modo expedito, para que já se comece a atuar na mitigação do problema. Neste trabalho procurou-se mapear as áreas mais propensas aos impactos da poluição sonora através de variáveis *proxy*, ou seja, que têm a função de substituir uma variável que seja de difícil mensuração, tais como os níveis sonoros. Utilizou-se também a simulação do ruído de tráfego através modelos já estruturados e reconhecidos pela literatura para verificação da compatibilidade de uso do solo com os níveis de ruído aproximados para aquelas áreas a fim de se criar diretrizes para o planejamento acústico das cidades. A contribuição da dissertação é um esquema metodológico. Para demonstração da proposta metodológica foi escolhido como estudo de caso a área delimitada pelo Avenida do Contorno em Belo Horizonte, reconhecida como a área projetada como cidade positivista, justificada pela homogeneidade espacial representada pela largura de vias, dimensões de lotes e quadras, o que facilitou avaliações de comparação e julgamento do comportamento das variáveis. Como resultado se coloca um roteiro metodológico de caracterização e análise da paisagem sonora que pode ser assumida como base para planejamento urbano e revisão de modos de ocupação e parâmetros urbanísticos.

Palavras Chave: Poluição Sonora, Paisagem Sonora, Mapa de Ruído, Análise Multicritérios, Planejamento Acústico.

Abstract

The growth of cities and urban life in the world results in phenomena of spreading urban fabric or densification of occupation, both resulting in demands for new collective and individual spaces, services, transport and production infrastructures. However, the provision of conditions for services and facilities also creates impacts on various aspects of urban habitat, in particular the soundscape. It is up to urban planners and public administrations to create plans for orderly occupation and try to mitigate the negative side effects of the growth of cities, in order to promote the increase in the quality of life of the population. Noise pollution appears as one of the main urban problems to be faced in environments that accumulate noise sources such as vehicle traffic, industrial activities and even leisure activities. However, the identification of all noise generating sources and their disturbance levels is complex, expensive and requires the use of specific equipment that can make mapping the soundscape a difficult task. In order to achieve a balance between the need for action and the conditions of action, it is often necessary to support the data collection in an expeditious manner, making possible to begin the actions to mitigate the problem. In this work, we tried explored the mapping of areas vulnerable to the impacts of noise pollution through proxy variables, that is, that have the function of replacing a variable that is difficult to measure, such as sound levels. Traffic noise simulation was also used through models already structured and recognized by the literature to verify the compatibility of land use with the approximate noise levels for those areas in order to create guidelines for the acoustic planning of cities. The contribution of the dissertation is a methodological framework. To demonstrate the methodological proposal, it was selected an area delimited by Avenida do Contorno in Belo Horizonte, recognized as the urban morphology designed as a positivist city, due to the spatial homogeneity represented by the width of roads, dimensions of lots and blocks. The homogenous condition of the area allowed comparison evaluations and judgment of the behavior of the variables. As a result, a methodological script for characterizing and analyzing the soundscape is placed, which can be assumed as a basis for urban planning and review of occupation modes and urban parameters.

Keywords: Noise Pollution, Soundscape, Noise Map, Multicriteria Analysis, Acoustic Planning.

Lista de ilustrações

Figura 1 Música para alguns, barulho para outros. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004	6
Figura 2 - Gráfico da Pressão Acústica x Pressão Atmosférica Gráfico. Fonte: Wikipédia, 2019. Modificado pelo autor.....	8
Figura 3 - Principais curvas de ponderação sonora. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004	11
Figura 4 - Indicadores Acústicos. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004.....	12
Figura 5 — Escala de intensidade do som. Fonte: SoBiologia. Disponível em: https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Ondas7.php	17
Figura 6 - Reflexão dos raios sonoros conforme orientação e morfologia. Fonte: Michalscki,2018.....	18
Figura 7 - - Reverberação dos raios sonoros na fachada dos edifícios. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004.	19
Figura 8 - Efeito de aumento da temperatura com a altura. Fonte: Michalscki,2018.	20
Figura 9 - Efeito de diminuição da temperatura com a altura. Fonte: Michalscki,2018	20
Figura 10 - Localização da área de estudo. Fonte: O Autor	35
Figura 11 - Projeto Original de Aarão Reis. Fonte: Mapa Histórico Digital de Belo Horizonte, 2014	36
Figura 12 - Mapa de classificação das edificações pela altura. Fonte: O autor, a partir de dados da PBH.	38
Figura 13 -Classificação das edificações por altura e Classificação das Edificações pela Cota de Topo. Fonte: O autor, a partir de dados da PBH.....	39
Figura 14 – Largura média das vias. Fonte: O autor, a partir de dados da PBH.	41
Figura 15 - Classificação do Cobertura Vegetal por NDVI. Fonte: O autor, a partir de imagem Rapid-Eye.....	43

Figura 16 - Classificação quanto ao uso residencial. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH.....	45
Figura 17 - Localização de escolas e unidades de saúde. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH.	47
Figura 18 - Carregamento do tráfego nas vias. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH.....	49
Figura 19 - Classificação viária. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH	51
Figura 20 - Diagrama metodologia. Fonte: O autor	54
Figura 21 - Combinação das variáveis por média aritmética. Fonte: Adaptado pelo autor de Rocha, Moura e Casagrande, 2018	57
Figura 22 - Combinação das variáveis por média-ponderada. Fonte: Adaptado pelo autor de Rocha, Moura e Casagrande, 2018	57
Figura 23 - Matriz de Combinação par-a-par. Fonte: a autor	58
Figura 24 - Esquema de Análises Parciais e Finais. Fonte: o autor.	60
Figura 25 - Esquema de integração de variáveis por Análise de Multicritérios para gerar a avaliação de Fragilidade Antropogênica. Fonte: a autor.....	61
Figura 26 - Esquema de integração de variáveis por Análise de Multicritérios para gerar a avaliação de Potencial de Difusão Sonora. Fonte: a autor.	62
Figura 27 - Área de Influência das Unidades de Saúde Fonte: a autor, a partir de dados da PBH.....	66
Figura 28 - Área de Influência das Escolas. Fonte: a autor, a partir de dados da PBH.	67
Figura 29 - Concentração de residências. Fonte: o autor, a partir de dados da Cemig	69
Figura 30 - Distribuição da Fragilidade Antropogênica. Fonte: a autor	71
Figura 31 - Esquema de mensuração de distâncias frontais entre edificações por triangulação e de medidas das alturas das edificações. Fonte: a autor.	72
Figura 32 -Distribuição do Índice de Oke, relacionado a cânions urbanos Fonte: a autor.	73

Figura 33 - – Distribuição da Cobertura Vegetal, por NDVI. Fonte: a autor, a partir de imagens de satélite Rapid-Eye.....	74
Figura 34 - Croqui de explicação do cálculo das formas côncavas e convexas. Fonte: a autor	75
Figura 35 – Classificação das fachadas de geometria convexa, Fonte: a autor.....	76
Figura 36 - Potencial da Difusão Sonora, Fonte: a autor	78
Figura 37 Esquema de Análise Combinatória: Potencial da Difusão & Fragilidade Antropogênica. Fonte: a autor.	80
Figura 38 - Uso do plugin <i>OpenNoise</i> - identificação dos pontos para mensuração. Fonte: a autor.	82
Figura 39 - Uso do plugin <i>OpenNoise</i> - informação das barreiras. Fonte: a autor ...	83
Figura 40 - Uso do plugin <i>OpenNoise</i> - informação das fontes de ruído. Fonte: a autor.	84
Figura 41 - Ruído de Tráfego Simulado, com o uso do plugin <i>OpenNoise</i> . Fonte: a autor.	86
Figura 42 - Matriz de combinação Fragilidade Territorial & Distribuição da Emissão do Som – Suporte à Decisão. Fonte: a autor.	88
Figura 43 - Mapa do Zoneamento Acústico. Fonte: o autor.	89

Lista de tabelas

Tabela 1 - Atribuição de notas aos componentes de legenda da variável proximidade a escolas e a unidade de saúde.....	65
Tabela 2 – Fatiamento do resultado do mapa de Potencial de Difusão do Impacto Sonoro.....	77

Lista de abreviações e siglas

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

EIV - Estudo de Impacto de Vizinhança

FAT - Fragilidade Acústica do Território

INDE - Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais

MCA – *Multicriteria Analysis* – Análise de Multicritérios

NBR – Norma Técnica

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index* - Índice Normalizado da Vegetação

NIR – Infravermelho próximo

NMPB - *Noise propagation computation method*

NPS - Nível de Pressão Sonora

OMS - Organização Mundial de Saúde

PBH – Prefeitura de Belo Horizonte

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

TFUE - Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia

TIN - *Triangulated Irregular Network*

Sumário

Agradecimentos	I
Resumo	II
Abstract	III
Lista de ilustrações.....	IV
Lista de tabelas	VII
Lista de abreviações e siglas	VIII
Introdução e Justificativa	1
Capítulo 1 - Aspectos teóricos e conceituais	5
1.1 - A percepção subjetiva do som e do ruído: características culturais.....	5
1.2 - O fenômeno sonoro	7
1.3 – Avaliação acústica quantitativa (objetiva)	9
1.4 - A poluição sonora nas grandes cidades e a sua influência sobre saúde humana	13
1.5 - Morfologia Urbana e Conforto Acústico	17
1.6 - Mapas de ruído.....	22
1.7 – Emprego dos Sistemas de Informação Geográfico para criação de mapas acústicos.....	23
1.8 - Legislação brasileira a respeito da poluição sonora	29
1.8.1 - Competência da União, dos Estados e dos Municípios em matéria ambiental.....	31
Capítulo 2 - Caracterização da área de estudo.....	35
2.1 - Altura das edificações.....	37
2.2 – Largura das Vias.....	40
2.3 – Cobertura Vegetal.....	42
2.4 – Uso do Solo	44
2.5 – Unidades Educacionais e de Saúde	46

2.6 – Carregamento de Tráfego Veicular.....	48
2.7 – Classificação Viária.....	50
Capítulo 3 - Materiais e Métodos	52
3.1 – Determinação das variáveis e área de estudo.....	55
3.2 – Criação do modelo MCA para avaliação das fragilidades territoriais	56
3.3 – Simulação dos Níveis de Pressão Sonora das fontes emissoras	58
Capítulo 4 - Desenvolvimento e resultados.....	63
4.1 – Índice de Fragilidade Antropogênica	63
4.2 – Potencial de Distribuição da Emissão.....	72
4.3 – Grau de Fragilidade Territorial	79
4.4 – Modelo de emissão de ruído de tráfego.....	81
4.5 - Avaliação do impacto territorial.....	87
Capítulo 5 - Discussão e Conclusão	90
Referências Bibliograficas	93

Introdução e Justificativa

No prólogo de seu livro, “A Boa Forma da Cidade”, Kevin Lynch (1981) questiona: “O que faz com que uma cidade seja uma boa cidade?”. Esta pode ser considerada, de forma geral, a pergunta que justifica a existência do planejamento urbano. Todavia, a resposta a essa pergunta pode ser complexa. Lynch deixa claro em seu texto que essa questão pode parecer sem sentido, uma vez que a cidade é uma entidade demasiado complicada, que abriga um enorme número de pessoas e grupos com diferentes variações culturais que seria inviável estabelecer uma resposta racional. Entretanto, esclarece que a academia deve se basear em dados sólidos mensuráveis a fim de pareceres para elaboração de políticas urbanas. Ele defende o caminho da avaliação da morfologia urbana, defendendo que a forma incide diretamente sobre a maneira como usamos, compreendemos e nos relacionamos com o espaço, tanto em termos objetivos (serviços e facilidades) como em termos subjetivos (nossas escolhas pessoais).

O conceito do que é o planejamento urbano também vem evoluindo, e quando se fala em planejar cidades, muito além de falar da mera distribuição espacial de ruas e avenidas, é preciso pensar que a morfologia vai além do objetivo e leva também ao perceptivo e cognitivo, constituindo vários aspectos que conformam a paisagem de um lugar e lhe permitirão criar seu *Genius loci*¹.

Um dos aspectos que compõe a paisagem urbana é a acústica dessa paisagem. Os sons presentes em um determinado ambiente formam o que tem se tornado conhecido pela expressão “*Soundscape*” (Paisagem Sonora) e é assim definida por Shafer (1977), o primeiro a definir o termo, em tradução livre:

¹ “A locução *Genius loci* diz respeito a uma identidade ligada a um lugar e a um objeto de culto na religião romana. Esta associação entre gênio e lugar físico nasce da assimilação do Gênio com os Lares, a partir da era de Augusto. Com a locução de *genius loci* individualiza-se um conjunto de características socioculturais, arquitetônicas, de linguagem e hábitos que personalizam um ambiente, uma cidade, um lugar. (SILVA, 2014)”

“Uma paisagem sonora é a combinação de sons que emergem de um ambiente imersivo. A paisagem Sonora é o objeto de estudo da ecologia ou paisagem acústica. A ideia de paisagem sonora refere-se tanto ao ambiente acústico natural, composto de sons naturais, incluindo a vocalização dos animais e a expressão do habitat coletivo, que a partir de agora serão chamados de biofonia; os sons atmosféricos e outros elementos naturais por exemplo serão agora denominados geofonia. Os sons ambientais produzidos pelos humanos serão referidos como antropofonia, incluindo um subconjunto de sons controlados como composições musicais, composições sonoras, linguagem, trabalho e sons de origem mecânica resultantes do uso da tecnologia industrial. Fundamentalmente o termo paisagem Sonora também inclui a percepção dos sons do ambiente por parte do ouvinte: ‘Como o ambiente é compreendido por aqueles que estão convivendo com ele’ e como lidam com ele. A perturbação desse ambiente acústico resulta em poluição sonora.” Shafer, M.R. (1977)

O conceito de Paisagem Sonora elaborado por Shafer (1977) permite que se reflita sobre como o planejamento urbano e distribuição de usos e ocupações espaciais podem impactar nesse aspecto da paisagem. Ao definir funções, e sobretudo a morfologia da cidade, o planejador urbano trabalha com variáveis que podem propagar ou barrar os sons, bem como criar lugares adequados às manifestações culturais e seus respectivos impactos sonoros, ou ruídos. O autor, juntamente com Barry Truax (1979) e Hildegard Westerkamp, atuou entre as esferas da música e da ecologia, chegando a propor o *World Fórum for Acoustic Ecology*, desenvolvendo estudos sobre paisagem sonora e ecologia acústica.

Uma distinção didática dos conceitos de som e ruído foi apresentada por Fiorillo (2003) quando afirmou que som é qualquer variação de pressão que o ouvido humano possa captar, enquanto ruído é o som ou o conjunto de sons indesejáveis, desagradáveis, perturbadores.

Porém, diferenciar som e ruído, bem como responder ao que torna um ambiente urbano agradável ou não, depende da percepção subjetiva das pessoas, porque ambos constituem o mesmo fenômeno físico. O organismo humano reconhece as vibrações sonoras que entram pelo ouvido e dão ao ser humano uma sensação

que caracteriza a percepção daquele som ou ruído, que pode ser variável, envolvendo fatores culturais, psicológicos e de tolerância de cada indivíduo.

Apesar de ser um conceito subjetivo, o ruído causa males objetivos e verificáveis em seres humanos. Portanto, é necessário deixar de olhar o problema acústico do ponto de vista individual e trazê-lo para a uma perspectiva coletiva ou social. Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 1999) a poluição sonora, hoje, é considerada como o terceiro problema ambiental que afeta o maior número de pessoas no mundo, atrás apenas da poluição do ar e da água (Freitas, 2002).

Os estudos sobre a paisagem sonora e o ruído urbano se multiplicam, mas ainda são poucos se comparados às pesquisas desenvolvidas quando a outras fontes de poluição. Boa parte das produções sobre poluição sonora têm se dado na área da saúde (Pinto & Mardones, 2009), talvez porque a exposição continuada a ruídos causa danos à saúde física e mental dos seres humanos. Por outro lado, as características de adaptação do ser humano favorecem uma acomodação das pessoas ao ruído, fazendo com que não reclamem ou se mobilizem no sentido de evitá-lo ou reduzi-lo. Uma vez expostas a determinadas condições ambientais, as pessoas tendem a se acomodar como instinto de adaptação, o que não significa que não estejam sendo afetadas na saúde física e psicológica (Hall, 2005).

A fim de contribuir para a melhora da qualidade de vida dos cidadãos governos e organizações têm criado normas e leis para o controle do ruído urbano. Com destaque para países membros da União Europeia que exige a criação de mapas de ruído para grandes cidades. Cita-se como exemplo a normativa europeia baseada nos Artigos 191.º a 193.º do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia (TFUE), que trata da Poluição Atmosférica da Poluição Sonora. A normativa define: “A Diretiva «Ruído Ambiente» ajuda a identificar os níveis de ruído na UE para que se tomem as medidas necessárias para os reduzir para níveis aceitáveis”. (EU, 2020).

O mapa de ruído é uma ferramenta que fornece informação visual acerca do comportamento acústico de uma área determinada porção do território tanto em um momento específico como através de bases estatísticas (Pinto & Mardones, 2009).

Segundo Cortês e Niemeyer (2014) no Brasil, ainda que pesquisas nesta área se utilizem do estado da arte, os métodos de simulação sonora não são utilizados nem mesmo para infraestruturas rodoviárias de grande porte. Sua utilização no planejamento urbano é incomum.

Diante do exposto, os objetivos do presente trabalho são:

Objetivo principal: propor um roteiro metodológico baseado em geoprocessamento para caracterização e análise da paisagem sonora que pode ser assumida como base para planejamento urbano e revisão de modos de ocupação e parâmetros urbanísticos.

São **objetivos secundários:** (a) propor e testar variáveis *driven* que se comportem como uma relação mínima e eficaz de variáveis com as quais se pode trabalhar a questão da paisagem sonora e poluição sonora urbana; (b) desenvolver processo de caracterização e análise da paisagem sonora de modo expedito que seja eficaz na substituição de mensurações complexas e de alto custo, para que a questão da poluição sonora já possa ser enfrentada no planejamento urbano; (c) ilustrar o processo proposto por estudo de caso que favoreça a compreensão dos planejadores, para que o tema da paisagem e poluição sonora sejam mais bem considerados no planejamento urbano.

A **pergunta norteadora** do trabalho é: como incluir a abordagem da paisagem sonora no planejamento urbano, considerando etapas de caracterização, análise e proposição tendo como suporte o geoprocessamento, através da modelagem de dados e da espacialização de ocorrências das variáveis significativas no fenômeno?

Capítulo 1 - Aspectos teóricos e conceituais

Cabe apresentar alguns aspectos principais sobre o fenômeno do som, através da caracterização de seu comportamento, apresentação de algumas explicações sobre como ele incide sobre a vida humana, assim como algumas discussões sobre sua relação com o espaço urbano. São abordadas possibilidades do geoprocessamento em estudos de integração de variáveis sobre o som, com ênfase em Análise de Multicritérios. São também apresentadas normativas existentes sobre o tema.

1.1 - A percepção subjetiva do som e do ruído: características culturais

Diferenciar som e ruído depende da percepção subjetiva das pessoas, porque ambos constituem o mesmo fenômeno físico. O organismo humano reconhece as vibrações sonoras que entram pelo ouvido e dão ao ser humano uma sensação que caracteriza a percepção daquele som ou ruído, que pode ser variável, envolvendo o fator psicológico de tolerância de cada indivíduo.

Segundo Bistafa (2006), o ruído é um som indesejável, em geral de conotação negativa. Logo, um som que gera incômodo nas pessoas. Esta definição é, porém, ambígua, pois um som que é indesejável para alguns pode ser agradável para outros.

Stevens (2012) argumenta que a sociedade é repleta de exemplos de julgamentos totalmente contraditórios sobre sons fisicamente idênticos. Por gerações, pais têm dito aos seus filhos para "abaixem esse barulho terrível!", incapazes de apreciar os sons que seus filhos pensam serem muito agradáveis e de grande qualidade musical. Outro exemplo são as descrições líricas da "trilha sonora" de programas esportivos sobre os poderosos motores de carros ou motos. Enquanto os jornalistas de automobilismo chegam a atribuir qualidades musicais aos sons dos motores, esses mesmos sons são geralmente considerados um incômodo por qualquer pessoa, a exceção dos condutores dos veículos em questão e de outros fanáticos do automobilismo (Figura 01).



Figura 1 Música para alguns, barulho para outros. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004

Ainda que não se preocupem com a definição de ruído propriamente dito, estudos psicoacústicos têm procurado aumentar a compreensão da complexa relação entre barulho, simpatia, incômodo e o significado do som relacionando-o a vários fatores contextuais (Stevens, 2012). Em um abrangente livro sobre o ruído, Florentine et al. (2011) ressaltam que, embora essencialmente sejam conceitos distintos, em situações práticas, som e ruído são relacionados e facilmente confundidos. Geralmente, o aborrecimento sentido por um ouvinte individual depende muito mais sobre seu estado psicológico do que sobre a percepção do próprio som. Nestes estudos, o “significado do som” é tipicamente tomado como um julgamento de valor sobre a fonte sonora - ou seja, gostar, não gostar ou ser indiferente a ela. Embora possa ser bastante óbvio, a opinião ou relação que se tem com uma fonte sonora pode influenciar as classificações de aborrecimento, ou (des)agradabilidade, isso não significa necessariamente uma modificação no grau de percepção intensidade do som.

Estudos de laboratório confirmaram que o significado do som pode influenciar no grau de incômodo, mas encontraram poucas evidências relacionando-o ao aumento da intensidade do som (Florentine et al., 2011). Em ambientes cotidianos, no entanto, há evidências de que parâmetros não acústicos, tais como vizinhança e os problemas de relações pessoais, podem influenciar tanto as classificações de incômodo, bem como o nível da intensidade sonora considerada aceitável, pois se associam julgamentos individuais ao fator (Hall, 2005). Também em ambientes cotidianos interferem no fenômeno as memórias, o contexto sensorial e cognitivo, que

resultam em classificações de incômodo em maior ou menor grau, interferindo na percepção da intensidade sonora.

Segundo o Instituto do Ambiente (2004) estudos têm focado no papel do contexto sensorial, particularmente nas interações multissensoriais (isto é, audiovisual e áudio-táctil). Um exemplo é a influência da cor. Em um estudo, os participantes ouviam o som de um motor enquanto lhes era mostrado uma imagem imóvel de um carro de esportes. Exceto pela cor do carro, todas as imagens eram idênticas, o som era tocado em igual intensidade, independentemente da cor do carro. Os pesquisadores descobriram que os participantes julgavam o som mais alto quando mostravam um carro de cor vermelha ou verde escuro - cores frequentemente encontradas em corridas e carros esportivos. Em outro estudo Zhang & Kang (2007) descobriram que fatores ambientais, tais como temperatura, vento e sol, podem influenciar a avaliação de paisagens sonoras em espaços abertos urbanos.

É possível encontrar na literatura autores como Lavandier e Defréville (2006), que pesquisam a construção de modelos para prever avaliações de paisagens sonoras baseadas em parâmetros acústicos e aspectos subjetivos. Estes estudos são importantes pois, como defende Lynch (1981), o espaço se modifica para se adequar ao comportamento, ao passo que o comportamento se modifica para se adequar ao espaço. Ou seja, a leitura das condições do espaço é dinâmica e resultante de um conjunto de fatores interrelacionados.

1.2 - O fenômeno sonoro

O som é uma onda mecânica, ou uma frente de compressão mecânica, portanto necessita de um meio ou suporte físico para se propagar, seja sólido, líquido ou gasoso – em outras palavras o som não se propaga na ausência de matéria.

No ar, que é o meio ao qual normalmente nos referimos, o fenômeno é propagado por vibração das moléculas de ar localizadas nas proximidades do elemento vibratório, que, por sua vez, transmitem o movimento para as moléculas

vizinhas, e assim por diante. A vibração das moléculas de ar provoca uma variação da pressão atmosférica, ou seja, a passagem de uma onda sonora produz uma onda de pressão que se propaga pelo ar. A velocidade de propagação neste meio, sob condições ambientes de temperatura (20°C) e pressão (1 atm = 760 mmHg) é aproximadamente 343 m/s (Everest, 2001).

Por ser um fenômeno mecânico, o som pode ser mensurado através das unidades de pressão Pa (Pascal), o que dá origem ao termo “pressão sonora”. A pressão sonora é dada pela diferença instantânea entre pressão acústica e a pressão atmosférica. A pressão acústica varia ao longo do tempo, estas variações são percebidas pelo ouvido humano, criando a sensação auditiva (Figura 02).

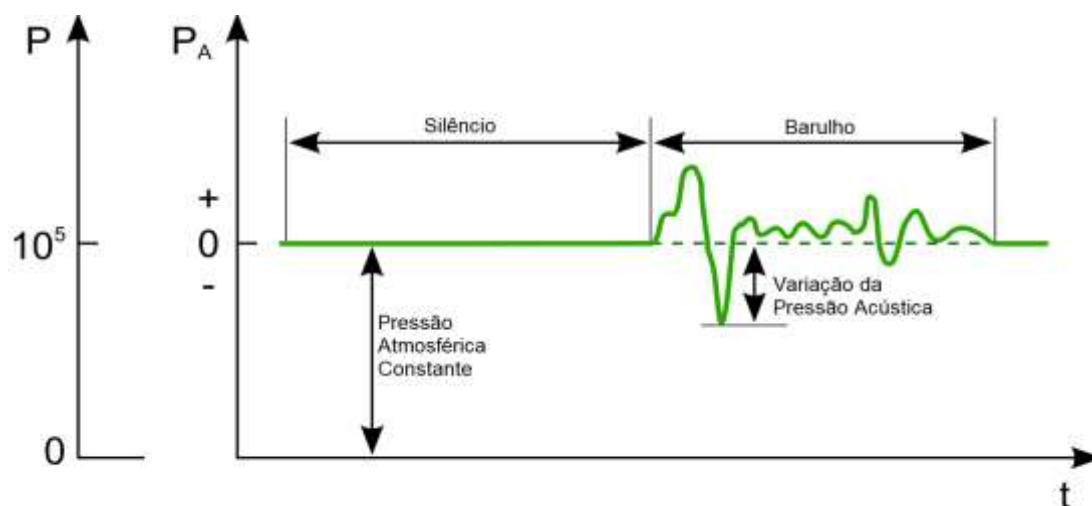


Figura 2 - Gráfico da Pressão Acústica x Pressão Atmosférica Gráfico. Fonte: Wikipédia, 2019. Modificado pelo autor

Além do nível de pressão sonora, outra característica essencial é a frequência do som. Frequência (f) é o número de oscilações por segundo do movimento vibratório do som, sendo a sua unidade ciclos por segundo, ou Hertz (Hz). As faixas audíveis de frequências ou bandas audíveis são as faixas de frequência que o ouvido humano é capaz de captar, e estas vão de 20 a 20000 Hz, as baixas frequências são caracterizadas por ondas de grande amplitude que geram os sons graves, do mesmo modo os sons agudos possuem frequências altas e ondas de baixa amplitude (Bistafa, 2006).

O ouvido humano, ao contrário de outros animais, não capta os infrassons abaixo de 20 Hz, como alguns insetos, muito menos os ultrassons acima de 20.000 Hz, como os morcegos.

Os sons do cotidiano dificilmente são de tom puro (sons de única frequência), pois geralmente são uma composição de tons puros em diversas frequências, como é o caso do ruído ambiental no meio urbano. Analisando o espectro sonoro do som, sabe-se o valor da pressão sonora para cada frequência.

1.3 – Avaliação acústica quantitativa (objetiva)

A avaliação subjetiva dos sons e ruídos torna essa abordagem pouco conclusiva. Para se trabalhar com a questão do som no planejamento urbano, e favorecer a inclusão de variáveis relacionadas ao fenômeno nas análises e proposições espaciais, é necessário estabelecer uma forma de avaliação objetiva através de uma grandeza mensurável. Segundo Bistafa (2006), a grandeza acústica determinante para averiguar a sensação subjetiva de intensidade dos sons é o Nível de Pressão Sonora (NPS).

A pressão dos sons captados pelo ouvido humano cobre uma ampla faixa de variação. Por exemplo, um murmúrio irradia uma potência de 0,000 000 001 watts, ao passo que uma orquestra sinfônica chega a produzir 10 watts, enquanto um avião a jato emite 100.000 watts de potência ao decolar. Assim, Alexander Graham Bell, fundador da Bell Labs, empresa de telefonia do século XIX, propôs uma escala logarítmica para expressar as grandezas físicas sonoras denominada “Bell”. É, pois, vantajoso recorrer a este artifício matemático, convertendo a escala linear de pressão sonora em Pascal (Pa), para escala logarítmica de nível de pressão sonora em decibel (dB). Nesta nova escala, a relação entre um som correspondente ao limiar da audição humana e um som doloroso, abrange 120 unidades que consistem nas escalas logarítmicas, conforme o BIPM – *Bureau International des Poids et Mesures* (2006):

- Nível de Pressão Sonora (NPS):

$$dB_{SPL} = 20 \log \log \frac{P_{ef}}{P_0}$$

$$\text{Onde: } P_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$$

Equação 1 - Nível de Pressão Sonora

O ouvido humano não é sensível da mesma maneira às diferentes frequências. Então, para um mesmo nível de pressão sonora, um ruído será tanto mais incômodo quanto maior a proporção de altas frequências. Baseado nas curvas de iso-sonoridade do ouvido humano, definiu-se uma série de filtros com o objetivo de ponderar o sinal coletado pelo microfone de acordo com a sensibilidade do ouvido, isto é, atenuando baixas frequências, a fim de que representem o nível sonoro representativo da sensação de ruído realmente recebido (Bistafa, 2006).

Para levar em conta essa sensibilidade são adotados filtros ponderadores, utilizados para modificar o espectro sonoro mensurado de acordo com a resposta do sistema auditivo as diferentes frequências do som (Bistafa, 2006). As curvas de ponderação A, B e C são demonstradas em gráfico (Figura 3).

Para avaliar ruído contínuo ou intermitente, utilizamos a curva A, ou filtro A, que é o que tem a resposta mais próxima à do ouvido humano para níveis sonoros moderados, como os ruídos do ambiente urbano. Assim os níveis os níveis de pressão sonora usados são medidos em decibéis A(dBA). São utilizados os filtros B, C e D para ruídos mais elevados, sendo o D utilizado apenas em aeroportos.

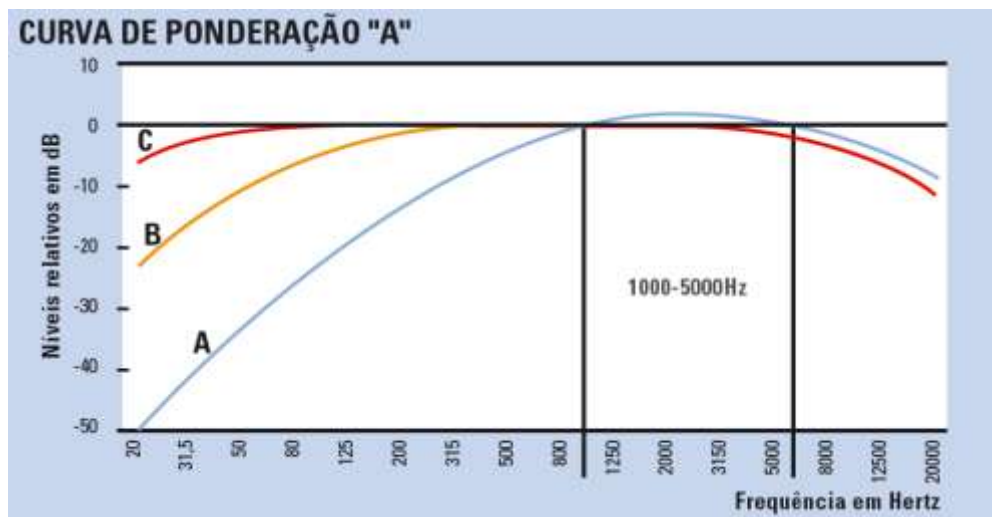


Figura 3 - Principais curvas de ponderação sonora. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004

A partir do levantamento dos NPS obtém-se diversos indicadores de ruído, dos quais o valor da pressão sonora apresenta inúmeras variações dentro de praticamente todas as escalas temporais (Figura 04).

- Instantâneos (SPL);
- Médios (LAeq);
- Estatísticos ou níveis percentis² (por exemplo: L₉₅, L₅₀, L₁₀);
- Máximos, mínimos (L_{max}, L_{min}).

² Nível percentil, representado por LN, é o nível de pressão sonora que foi excedido em N% do tempo de medição.



Figura 4 - Indicadores Acústicos. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004

A fim de encontrar um valor adequado para representar o valor da pressão sonora em um determinado ambiente é calculado o nível de pressão sonora equivalente - L_{eq} (*Level of equivalence*). O L_{eq} pode ser obtido de várias formas, uma das mais utilizadas é o valor médio quadrático da pressão sonora, referente a todo o intervalo de medição em decibéis, expressado pela Equação 2:

$$L_{eq} = 10 \log \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right]$$

Equação 2 - Cálculo do L_{eq}

Onde:

- ✓ L_{eq} = Nível de pressão sonora equivalente em dB
- ✓ P_0 = Nível de pressão de referência
- ✓ P_A = Nível de pressão de instantânea
- ✓ t_1 = Tempo inicial da medição
- ✓ t_2 = Tempo final da medição

O L_{eq} é considerado por alguns especialistas uma medida questionável para avaliação da pressão sonora. A argumentação se baseia no fato da energia contida nos impulsos “diluir-se” nas partes silenciosas de um do registro quando se calcula a média temporal (Bistafa, 2006). Entretanto, o L_{eq} é o utilizado pela maioria dos países como métrica em manuais e normas que regulam a exposição sonora pois, inclusive na normativa brasileira NBR 10.150:2019 (ABNT, 2019). Este descritor de ruído é um parâmetro muito útil quando há grandes variações de energia sonora durante um intervalo de tempo. Assim, a ausência de constante de tempo e sua excelente correlação com os efeitos danosos do ruído à audição e à saúde humana tornam o L_{eq} essencial no monitoramento do ruído ambiental.

Outros parâmetros estatísticos auxiliam na avaliação do conforto sonoro ambiental, como L_{10} , L_{50} e L_{90} que representam respectivamente 10%, 50% e 90% do nível sonoro excedido durante o tempo de medição e permitem identificar o ruído de pico, o ruído mediano e o ruído de fundo (Bistafa, 2006).

O monitoramento e a modelagem ambiental de ruídos utilizam a ponderação L_{eq} para o estabelecimento dos níveis estatísticos como L_{day} (período diurno de 7h as 19h), $L_{evening}$ (período vespertino de 19h as 23h), L_{night} (período noturno de 23h as 7h) e L_{den} (média do ruído para um período de 24h) adotados pela norma ISO 1996-2:1987 ou L_d (período diurno de 7h as 19h), L_n (período noturno de 19h as 7h) e L_{dn} (média do ruído para a soma dos períodos diurno e noturno).

Os indicadores de ruído (L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} e L_{den}) também podem ser utilizados para a modelagem da paisagem sonora em vários métodos computacionais disponíveis.

1.4 - A poluição sonora nas grandes cidades e a sua influência sobre saúde humana

O fato de o ruído ser um conceito subjetivo não o exime ser potencialmente danoso. Longas exposições a ruídos excessivos são responsáveis por afetar o comportamento humano, o bem-estar, a produtividade e a saúde. O ruído ambiental

também tem um impacto ecológico mais amplo sobre algumas espécies de aves e várias outras formas de vida selvagem. Ecologistas consideram que a poluição sonora pode ser um dos fatores de declínio em larga escala na biodiversidade (Instituto do Ambiente, 2004).

Segundo Souza (2004) os efeitos do ruído no comportamento humano passaram a ser mais bem observados a partir do começo da Revolução Industrial, com surgimento de máquinas elétricas mais potentes, tanto em fábricas quanto nas construções, além de novos meios de transporte, todos eles fontes sonoras de grande intensidade. O desenvolvimento da indústria e o crescimento das cidades resultaram atualmente em um mundo essencialmente urbano e crescentemente ruidoso, e que atualmente conta com principais fontes sonoras os meios de transporte, aeronaves principalmente helicópteros e a indústria do entretenimento com bares e música ao vivo.

O desconforto acústico surge quando o nível de ruído ao redor atrapalha a execução de atividades que necessitam de certo nível de silêncio ou de controle dos níveis sonoros. Surgindo o desconforto físico, manifesta-se o desconforto psicológico, não necessariamente nessa ordem, e a partir daí surgem os elevados índices de reclamação.

A forma como os sentidos interferem na percepção do conforto do ambiente construído, conforme abordada por Schmid (2005), comprova que não é apenas o sistema fisiológico que determina o conforto, mas também a expressividade que compreende os aspectos subjetivos.

Dentro desse conceito, destacam-se as questões ligadas especificamente ao conforto acústico, uma vez que a questão da poluição sonora e dos danos que ela pode causar à saúde física e mental dos seres humanos tem sido um dos problemas de mais difícil solução nas grandes cidades.

A poluição sonora é uma das formas crescentes de contaminação do meio ambiente. Mas a sua definição depende também da percepção dos indivíduos expostos a esses ruídos, já que é o aparelho auditivo, exposto a intensidades sonoras diversas, que revela os limites de audibilidade e de dor do ser humano. Pesquisas

nesse sentido comprovam que a exposição a determinados tipos de ruído tende a ser prejudicial à saúde e ao bem-estar humano (Gerges, 2000).

As principais fontes emissoras urbanas provêm do tráfego de veículos (aéreos, rodoviários, ferroviários), das indústrias e das atividades humanas de uma forma geral. Dentre estas, podem ser encontradas fontes pontuais (buzina, motor sem deslocamento) e fontes lineares (como no caso de deslocamento de uma fonte com velocidade constante, como em tubulações). No caso do deslocamento de veículos em vias urbanas, pela constante troca de velocidades e paradas, alguns autores, como Moore (1988), consideram-na uma fonte mista.

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 1999), os níveis de pressão sonora não devem ultrapassar os 55 dB(A) e a exposição por mais de 8h a níveis acima de 80 dB(A) por dia pode provocar reações fisiológicas. Estas podem se dividir em diretas como dificuldade na comunicação com outras pessoas, restrições auditivas, dores de ouvido, etc.; e indiretas como problemas neurológicos, elevação do nível de estresse, cansaço e ainda problemas cardiovasculares e distúrbios psíquicos (Seligman, 1993).

Segundo Belojevic et al. & Maschke *apud* Zanin e Szeremetta (2003), o nível de pressão sonora excessivo é um fato comum nos grandes centros urbanos e é gerado, principalmente, pelos meios de transporte. Seus estudos demonstram que o ruído de tráfego de 66 dB(A) deve ser considerado como o limiar do dano à saúde. Consequentemente, foi estabelecido no âmbito da medicina preventiva 65 dB(A) como o nível máximo a que um cidadão pode se expor no meio urbano, sem riscos.

Segundo Croome (1977), o desconforto causado pelo ruído é dependente de vários fatores, como a forma espectral (frequência e intensidade) da onda sonora; conteúdo espectral (largura da banda, valores de pico, etc.); duração do ruído; número de repetições do evento ruidoso; tarefas individuais envolvidas; suscetibilidade individual; interação com outros fatores ambientais; níveis de sensibilidade física e psicológica individual; experiência anterior com o tipo de ruído.

Sob o aspecto psicológico, Levy-Leboyer e Naturel (1991) afirmam que os fatores envolvidos no desconforto causado pelo ruído são: o tipo de ruído; a

audibilidade (*loudness*); a aceitabilidade ou repulsa ao ruído; a maneira de se produzir o ruído (intencional ou não intencional); aspectos temporais da onda sonora; atividades realizadas no momento do ruído; a reação individual ao ruído; a relação com a pessoa que está produzindo o ruído, entre outros.

Na pesquisa realizada por Yorg e Zannin (2003), por exemplo, quando os indivíduos foram questionados se eles se sentiam incomodados ou molestados pelos níveis de ruído vigentes em seu ambiente laboral e/ou em seu ambiente urbano, a resposta frequente foi: “nós já estamos acostumados a estes ruídos”, “...com o tempo a gente se acostuma...”. Estas respostas demonstram claramente que a exposição contínua e repetida ao ruído não é mais percebida de uma maneira consciente ou incômoda, porém os autores enfatizam que os efeitos desta exposição continuam a atuar danosamente contra a saúde destes indivíduos.

É importante enfatizar que, entre as poluições ambientais, o ruído somente pode ser avaliado e medido enquanto está ocorrendo. Ele não deixa resíduos, nem há possibilidade de analisá-lo em laboratório por meio de amostras, uma vez que se trata de uma onda que se dissipa no espaço, porém, gerando danos irreversíveis ao meio.

No Brasil, segundo o censo demográfico de 2010, 84% da população vive em cidades (IBGE, 2010). Essa expansão urbana eliminou o silêncio de boa parte do planeta e do país e, atualmente, no Brasil e no mundo, o ruído se constitui como um dos agentes contaminantes mais nocivos à saúde humana (Santos, 2004).

O dano humano e econômico que ele causa, está levando cada vez mais autoridades, desde órgãos internacionais até conselhos municipais, para reconhecer, avaliar e regular ruído como um poluente ambiental que deve ser controlado sempre que possível (Stevens, 2012).

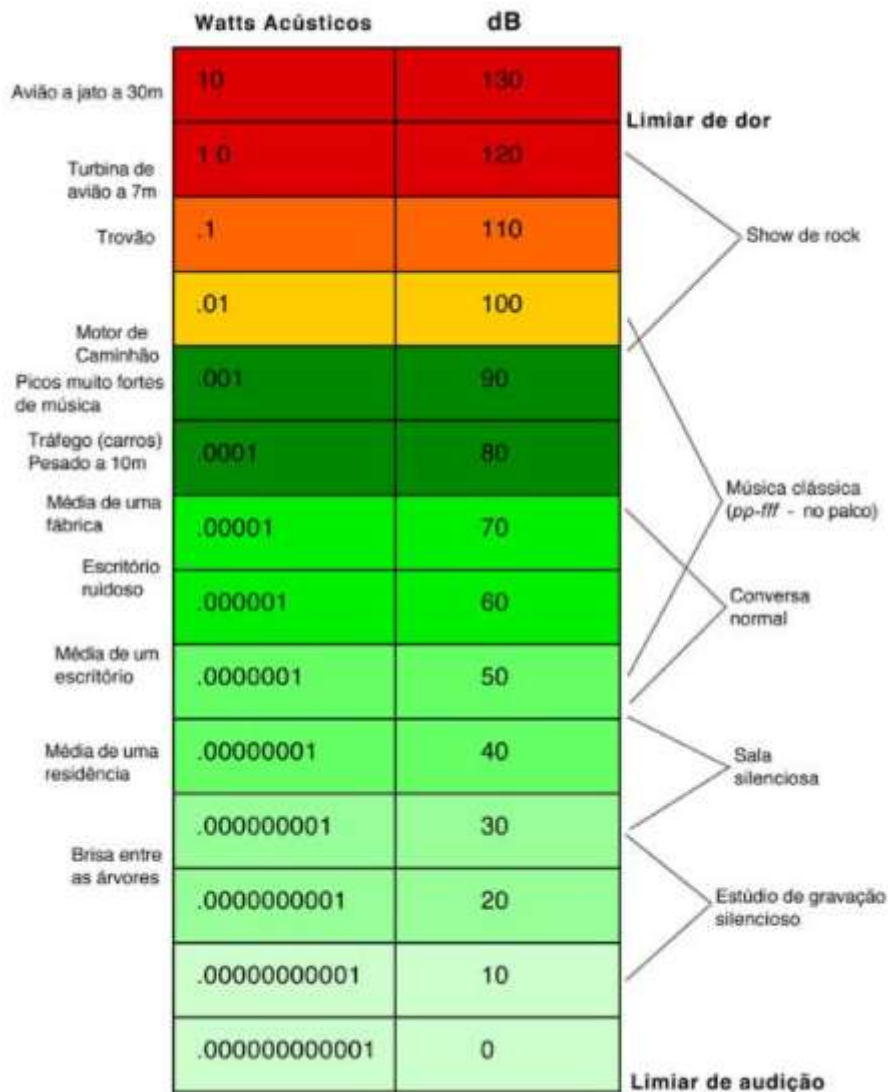


Figura 5 — Escala de intensidade do som. Fonte: SoBiologia. Disponível em: https://www.sobiologia.com.br/conteudos/oitava_serie/Ondas7.php

1.5 - Morfologia Urbana e Conforto Acústico

A energia sonora gerada por uma fonte qualquer se propaga e se dissipa no ar ao percorrer uma dada distância, ou até que atinja um obstáculo. Ao atingir um obstáculo uma parte da energia sonora é absorvida e se dissipa na forma de calor, outra parte é transmitida a através do obstáculo e uma terceira parte é refletida.

A paisagem urbana é composta de vários elementos capazes de absorverem e refletirem as ondas sonoras em diferentes proporções e frequências que podem

intensificar ou reduzir os níveis sonoros. Assim, Niemeyer e Slama, 1998 definem que é fundamental a compreensão dos mecanismos de emissão e propagação do som no tecido urbano para controle do ruído nas cidades.

Segundo Michalski (2018), com a utilização de materiais rijos e lisos, tais como os que são normalmente utilizados na fachada as edificações, o nível de reflexão dos raios sonoros tendem a ser maiores. Esse fenômeno pode ser intensificado se as construções tiverem formas que facilitem a concentração destes raios como fachadas côncavas, ou distâncias pequenas entre edificações. Esses efeitos podem ser amenizados se observadas as áreas que ficarão expostas as principais fontes de ruído (Figura 06).

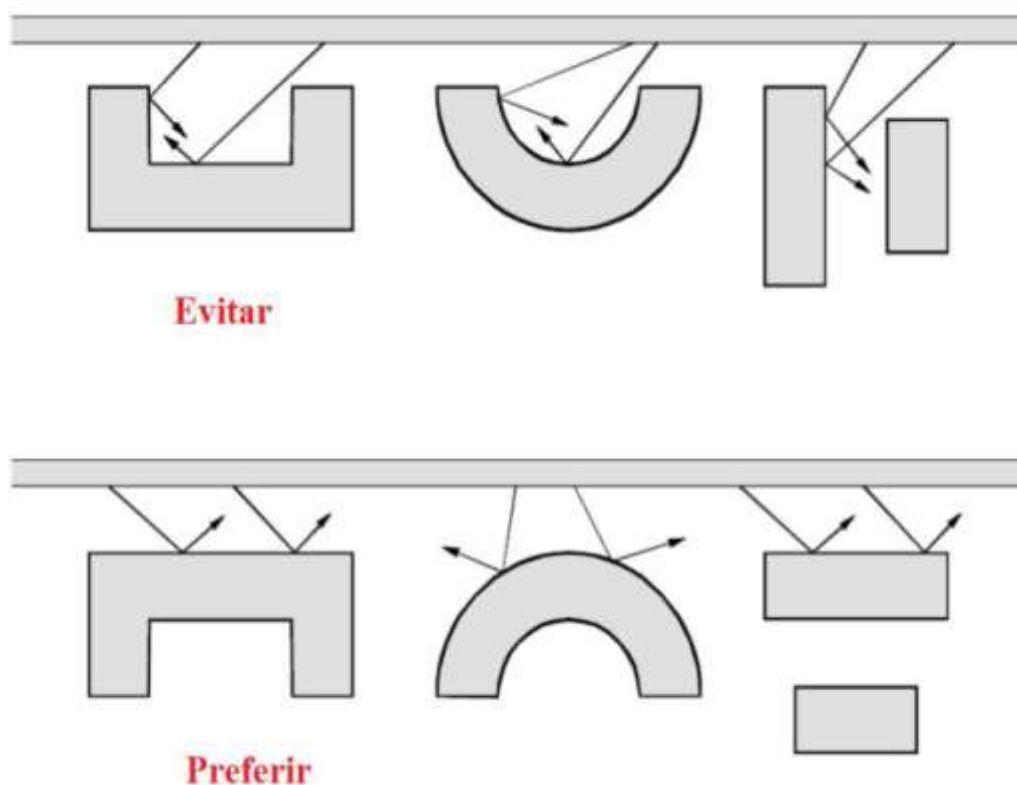


Figura 6 - Reflexão dos raios sonoros conforme orientação e morfologia. Fonte: Michalski,2018

As formas côncavas também podem ocorrer no sentido transversal das vias, quando ambos os lados de uma rua ou avenida tem edificações, essa configuração também é chamada de Cânion Urbano (Nakamura e Oke, 1988). O efeito da reverberação do som nas fachadas dos prédios pode amplificar o ruído, especialmente o do tráfego de veículos (Figura 07).

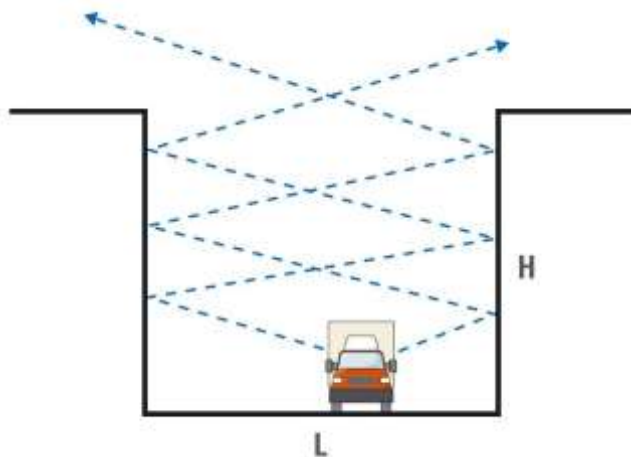


Figura 7 - - Reverberação dos raios sonoros na fachada dos edifícios. Fonte: Instituto do Ambiente, 2004.

Em um experimento realizado em 42 vias da cidade Bucareste, capital da Romênia, Hincu (2003) demonstrou em estudos de campo que altura dos edifícios lindeiros as vias tem grande influência sobre o incremento da poluição sonora para vias com volumes de tráfego semelhantes, a diferença entre o $L_{eq}(A)$ para vias com edifícios até 5 pavimentos e vias com edifícios com mais de 9 pavimentos ultrapassa os 10db(A).

Essa intensificação pode levar a uma pequena reverberação, ou seja, quando existe um pequeno intervalo de tempo em que, mesmo a fonte sonora cessando sua emissão, o som continua perceptível devido ao prolongamento do som causado pelas inúmeras reflexões, até que decaia abaixo do nível perceptível.

Picaut et al. (2005) observaram um aumento no tempo de reverberação com o aumento da distância entre fonte e receptor. A atenuação sonora foi menor para as baixas frequências, pois a fachada dos edifícios favoreceu as reflexões de alta frequência, e as baixas frequências foram canalizadas dentro da rua. Já a atenuação sonora em relação ao nível da rua parece depender apenas da largura da rua e da altura das edificações.

Outro aspecto a ser levado em consideração são efeitos climáticos que podem influenciar a trajetória das ondas sonoras, em especial a temperatura e direção dos ventos. Segundo Michalscki (2018) e Bistafa (2006) as variações de temperatura e velocidade do vento geram gradientes de velocidade das ondas sonoras e podem

aumentar ou diminuir as áreas de sombra acústica. Quando a temperatura do ar aumenta, a velocidade de deslocamento das ondas sonoras também irá aumentar e a diferença de temperatura entre as massas de ar superiores e inferiores poderá alterar a direção de propagação dos raios sonoros (Figuras 08 e 09).

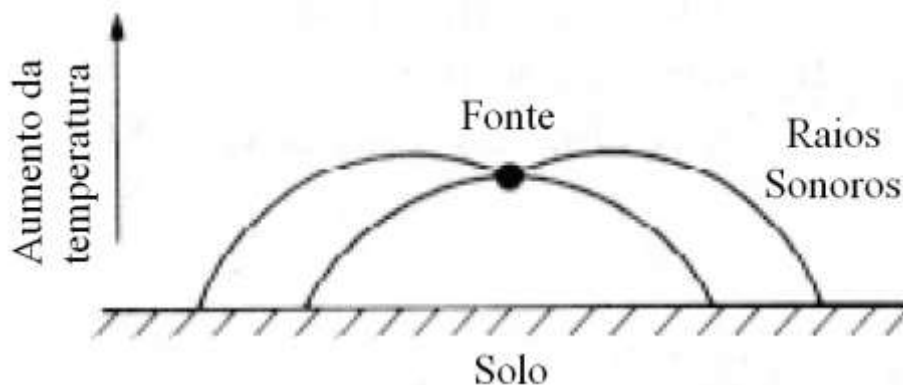


Figura 8 - Efeito de aumento da temperatura com a altura. Fonte: Michalscki,2018

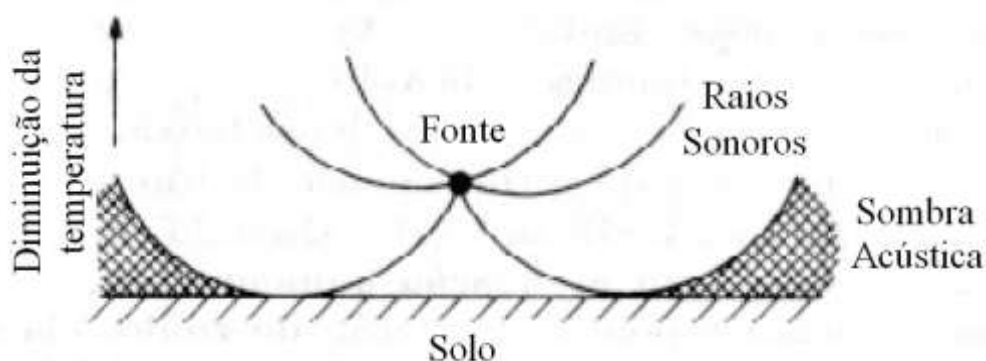


Figura 9 - Efeito de diminuição da temperatura com a altura. Fonte: Michalscki,2018

Segundo Nakamura e Oke (1988), os chamados cânions urbanos, que foram nomeados desta forma em analogia aos cânions naturais e são constituídos pelas paredes de dois prédios adjacentes e a rua localizada entre eles, são reconhecidos como uma unidade básica para o estudo do microclima e o conhecimento da sua geometria é essencial para o entendimento do clima urbano e comportamento das massas de ar e, por conseguinte, do comportamento da poluição sonora (Krüger, 2008).

Uma das formas de se conhecer o comportamento térmico dos cânions urbanos é a adoção de um parâmetro de análise bastante utilizado: a razão entre a altura dos

edifícios e a largura da rua ($H = \text{Height (altura)} / W = \text{Width (largura)}$) (Silva, 2013). Os cânions são compostos por duas superfícies verticais de altura (H) e por uma superfície horizontal (W), representando as fachadas dos edifícios e a via de circulação urbana, respectivamente. Esta relação H/W geralmente é utilizada para cálculo de fluxos de ar, efeitos térmicos e acesso solar, bem como influência da topografia urbana na qualidade do ar em todo o mundo (Johnson e Watson, 1984; Oke 1988; Barbirato et al., 2007; Pano et al. 2009; Minella et al., 2009; Sousa et al., 2015; Cavalcante et al., 2016; Rocha et al., 2016; Silva et al., 2016).

Os densos materiais de construção fazem do sistema um bom conservador de calor, impermeabilizam as superfícies e refletem as ondas sonoras. Os blocos formados pela geometria urbana criam a possibilidade de a radiação ficar aprisionada e do ar ficar estagnado (Oke, 1988), o que influencia no ruído, uma vez que pelas condições de ventilação, o som também pode ser intensificado ou atenuado. O movimento do ar pode direcionar as ondas sonoras, intensificando o ruído, se o sentido de propagação da onda é igual ao sentido do movimento de ar. Em situação contrária, o desvio da onda sonora provoca redução na energia sonora que chega ao receptor.

Tanaka e Shiraishi (2008) propõem um método para prever o efeito do vento quando simulado em $Leq(A)$ durante um ano, para condições de estrada complexas (por exemplo: estrada acidentada) e superfície do solo irregular. O método foi validado através de um experimento de campo. Os resultados indicaram que o $Leq(A)$ para estradas pôde ser previsto com boa precisão, modificando a distância entre fonte e receptor e o vetor da direção dos ventos.

Por outro lado, os sons podem ser atenuados no meio urbano, seja pela distância no percurso, seja pela absorção sonora que pode ocorrer em vários elementos das superfícies das cidades. Uma das razões para esse decaimento pode ser a distância entre fonte e receptor, pois a energia contida na onda sonora, ao se propagar, vai se distribuindo em área cada vez maior, atenuando-se. Para uma fonte pontual, essa perda de energia corresponde a uma queda de 6 dB no nível de pressão sonora para cada duplicação da distância da fonte (conhecida como lei do inverso do quadrado da distância). Para uma fonte linear, o nível de pressão sonora decai 3 dB

ao dobrar a distância da fonte. No caso de fontes mistas, esse decaimento pode ser considerado de 4 dB (Moore, 1988).

Pode ocorrer também a absorção pelo solo, que depende das características dos materiais. Solos macios, como terra, vegetação e pisos emborrachados, possuem maiores índices de absorção. Niemeyer e Santos (2001) recomendam o uso de vegetação nos solos de calçadas, recuos e taludes, pois apresentam índices de absorção acústica satisfatória. Simões e Villanova (2009) confirmaram esses resultados, quando verificaram que recuos com jardins promoveram atenuação sonora de 5,9 dB(A). Por outro lado, os recuos pavimentados de edificações estudados pelos mesmos autores não causaram atenuação sonora, embora houvesse distância da fonte, portanto, promoveram reflexão e intensificação.

Os ruídos urbanos podem ser minimizados para o receptor através de barreiras, como muros, taludes, elementos verticais, pela própria edificação ou conjunto de edificações. Beranek (1969) ressalta que para que seja eficaz, essa minimização depende da altura da barreira, da frequência da onda sonora, da distância da fonte e do ouvinte em relação à barreira e a altura desses elementos em relação ao solo. Malafaia et al. (2005) enfatizam a importância das barreiras acústicas aliadas também à integração com seu entorno, com soluções plásticas na sua composição, que reduzam a interferência visual ou se adequem aos diferentes meios de observação e condições climáticas, associadas ainda ao uso integrado da vegetação.

1.6 - Mapas de ruído

Segundo Klaeboe et al. apud Vieira Júnior (2011), os mapas sonoros são instrumentos novos, mas de alta eficiência no que diz respeito à visualização da localização de sons indesejados e capazes de causar impacto ambiental. Conseqüentemente, subsidiam à identificação das causas e o planejamento de ações de monitoramento dos mesmos. Este instrumento pode ser uma ferramenta de sucesso, principalmente se utilizada por gestores públicos em grandes cidades, como

meio de conscientizar a população, bem como encorajá-la a apoiar medidas de controle acústico.

Os mapas de ruído podem ser produzidos para diferentes finalidades, dentre as quais a mais comum é para a identificação de pontos ou áreas críticas. Outro objetivo importante dos mapas de ruído é ajudar a controlar a evolução do ruído no tempo e comparar esta evolução com uma meta desejada (Mardones, 2009).

Cortês e Niemeyer (2014) destacam a importância do mapeamento acústico é como ferramenta de planejamento e controle do ruído urbano, mostrando os diversos fins para os quais pode ser utilizado, dependendo da escala e objetivo do estudo. Porém, ressaltam que, apesar de existirem pesquisas e publicações sobre o estado da arte no tema no Brasil, os métodos de simulação computacional de impacto sonoro não são exigidos nem mesmo para infraestruturas rodoviárias de grande porte.

1.7 – Emprego dos Sistemas de Informação Geográfico para criação de mapas acústicos

Segundo Moura et al. (2018) tecnologias de representação da geoinformação tornam-se cada vez mais eficazes ao auxiliar planejadores urbanos, em especial naquelas cidades onde os processos sociais avançam mais expressivamente. Nas regiões onde a cidadania ainda não é plenamente consolidada, ocorre uma inversão, em que as possibilidades tecnológicas é que têm o papel de despertar o olhar e o interesse do cidadão sobre o seu espaço.

A utilização de ferramentas de geoprocessamento para visualização dos dados acústicos é promissora, pois, ferramenta possui um extenso conjunto de recursos para manipulação e análise de dados geoespaciais, com destaque à criação de mapas temáticos (Vieira Júnior, 2011).

Para tanto destaca-se o trabalho de Kluijver e Stoter (2003) que padroniza os critérios e a precisão a serem empregadas na elaboração de mapas de ruído, pois

estabelece as etapas em que o SIG (Sistemas de Informações Geográficas) será empregado. O roteiro estabelece seis passos principais, assim explicados:

→ Passo 1: coleta de dados, armazenamento e conversão

Segundo os autores, dois tipos de dados podem ser distinguidos:

- A) Dados necessários para computar níveis de ruído (emissão sonora da fonte de ruído e aspectos que influenciam a transmissão de ruído, tais como a altura de edifícios);
- B) A localização de pessoas, animais e/ou suas atividades (em áreas, casas e outras edificações) com respeito à sua sensibilidade ao ruído.

Os efeitos do ruído são verificados a partir da combinação desses dois grupos de dados. Outro aspecto importante é a escolha da escala e nível de detalhe dos dados (escala geográfica). Deve-se atentar para que sejam suficientes para alcançar a precisão proposta. Todavia, deve-se tomar cuidado, pois o excesso de dados pode gerar um consumo de tempo excessivo na coleta, preparação e cálculo dos dados.

Os pesquisadores ressaltam que grandes variações em informação espacial só podem ser reproduzidas adequadamente se a densidade dos pontos de observação for alta o suficiente. Isso significa que locais próximos à fonte sonora, onde há grande variação de níveis de ruído, precisarão de uma maior concentração de pontos de observação, em contraponto a lugares afastados ou paralelos à fonte sonora, onde há pequena variação do nível de ruído.

→ Passo 2: Calcular os Níveis de Ruído

Os dados de nível de ruído são quase sempre calculados e não mensurados, em primeiro lugar porque apenas o cálculo (ou modelagem) pode prever situações futuras, em segundo porque calcular os níveis de ruído é mais prático do que realizar as mensurações em todos os pontos, tarefa demorada que poderia tornar o trabalho inviável. Por fim, os autores acrescentam que, o cálculo dos níveis de ruído trás maior segurança legal as partes envolvidas, pois não acarreta em erros de medição.

A base de cada cálculo para esses modelos é a informação na emissão de ruído pela fonte. Em se tratando de tráfego como fonte sonora, tem-se, como

parâmetros, o número de veículos por hora, o tipo de veículos (motocicletas, carros, van, ônibus e caminhões), a velocidade e a superfície da rua. Essas variáveis são baseadas em extensivas medidas, repetidas periodicamente. No caso de fonte sonora de atividades industriais, é necessário fazer a medição diretamente na fonte, visto que estas são compostas por uma grande variedade de componentes na geração de ruído.

→ Passo 2.2: Integração de SIG e modelos computacionais

O método de cálculo do ruído poderia ser implementado em softwares SIG, já que nestes existem funções de processamento geoespacial para aperfeiçoar o processo do cálculo. Porém, os autores afirmam haver dificuldade em substituir softwares de modelagem de ruído, porque os modelos computacionais de ruído implementados nesses softwares são confidenciais, tornando esta etapa do processo um pouco obscura para quem conduz o estudo.

→ Passo 3: Acúmulo de ruído de diferentes fontes

O acúmulo de ruído de diferentes fontes é um fator importante, pois geralmente o incômodo gerado em um ponto da área de estudo é determinado por mais de uma fonte de ruído. É evidente, que o cálculo de novas fontes de ruído, ou a mudança delas, será baseada nos níveis previamente existentes.

→ Passo 4: Determinando contornos de ruído

Segundo os autores, a escolha do método de interpolação para a geração das curvas de contorno de intensidade de ruído, assim como da densidade dos pontos de observação, é subjetiva e a critério do pesquisador. Como regra básica, vai depender do grau de detalhamento (escala geográfica) e do fator tempo. Alguns softwares comerciais de acústica necessitam de um número mínimo para a interpolação, o que não é o caso dos softwares de geoprocessamento.

→ Passo 5: Determinando os efeitos do ruído

Kluijver e Stoter (2003) definem que os efeitos dos ruídos são quantificados e visualizados ao confrontar os contornos de ruído com as informações da vizinhança e atividades sensíveis ao ruído. Para quantificar os efeitos do ruído, incluem-se:

- Cálculo da área afetada;
- Determinação do número de cidadãos perturbados;
- Determinação do número de edifícios afetados especialmente os com atividades sensíveis como hospitais, creches, etc.;
- Determinação de áreas dentro de zonas de proteção afetadas.

→ Passo 6: Apresentação do impacto do ruído

Para um sentido mais significativo dos resultados, são necessárias perspectivas e apresentação da qualidade dos resultados. Técnicas que estimem o erro dos estudos de efeito do ruído devem ser aplicadas. São elas:

- Métodos de erro de propagação;
- Exposição da qualidade dos resultados através da quantificação de potenciais erros;
- Adição aos contornos de ruído de bandas de incerteza.

Bocher et al (2019) propõe uma implementação de uma abordagem simplificada de mapeamento de ruído dentro de um SIG, permitindo produzir mapas de ruído na escala da cidade ou de aglomerações urbanas com tempos de cálculo limitados, a fim de considerar vários cenários de planejamento com duração razoável. O método proposto baseia-se na implementação simplificada do método nacional francês ‘NMPB-08’, mas uma abordagem semelhante poderia ser considerada para outros padrões nacionais ou internacionais.

O método nacional de cálculo francês NMPB Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB) é o método provisório recomendado pela Directiva Europeia, para aqueles Estados que não possuem seu próprio método de cálculo do ruído produzido pelo tráfego rodoviário. Ele se refere ao *Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, article 6*, e a norma francesa XPS 31-133. O método apresenta um procedimento detalhado de cálculo dos níveis de ruído gerados pelo tráfego na proximidade de uma via, tendo em conta o impacto das condições meteorológicas na propagação. O algoritmo do cálculo através do modelo NMPB Routes-96 considera o cálculo do nível sonoro equivalente de longa duração (LLT) e as condições meteorológicas da zona em estudo.

Em pesquisa realizada por Knauss (2009) é feita uma análise do modelo de cálculo francês e do modelo de cálculo alemão RLS 90, comparando-os com as medições coletadas na área de estudo. Os resultados mostraram que, em situações de terrenos mais acidentados, os dois modelos obtiveram certa diferença entre os níveis de ruído calculado e os níveis de ruído medido.

OpeNoise Map é um plug-in para o software *opensource* QGIS desenvolvido pela Agencia Regional para Proteção Ambiental da região do Piemonte na Itália para calcular o nível de ruído gerado por fontes de pontuais ou sistema viário sobre pontos receptores fixos ou edifícios. O plug-in utiliza os métodos NMPB-Routes-96 e CNOSSOS para emissão de ruídos rodoviários. É necessário considerar as simplificações como a modelagem em 2D, não são consideradas os desníveis no terreno e as reflexões; todavia a divergência geométrica, a absorção atmosférica e as difrações são levadas em consideração.

Uma das formas possíveis de aplicação dos sistemas de informação geográfica na avaliação da poluição sonora é elaboração de uma Análise Multicritérios que de acordo com Moura, 2007 é baseada na álgebra de mapas, pois ela agrupa as principais variáveis que representam o território, as representa de modo numérico e as integra. Esta integração poderá ocorrer especialmente pelos métodos de Pesos de Evidência (*Weighted Sum*) e a Análise Combinatória (*Combinatorial Analysis*) (Rocha, Moura e Casagrande, 2018). A diferença entre os dois processos é também denominada por Bonham-Carter (1994) como Análise de Mapas por Pares de Mapas, ou *Two-Map Overlays* (baseada em tabela de combinação de ocorrências) e por Múltiplos Mapas (*Multiple Maps*) baseados em Pesos de Evidência.

Moura (2007) ressalta que a Análise de Multicritérios é compreendida um modelo de simplificação da complexa realidade espacial com a utilização das variáveis que se destacarem na caracterização do fenômeno investigado. Essas variáveis podem ser organizadas em camadas e organizadas de forma a respeitar a resolução espacial que melhor descreva o território e respeite a qualidade dos dados utilizados.

Assim a Análise de Multicritérios trabalha com camadas de informações que já receberam uma avaliação sobre sua influência sobre o objetivo de investigação, indicando através de um valor numérico o seu grau de pertinência perante o objetivo

de investigação (a partir da codificação numérica de elementos que antes eram em escala ordinal, quantitativa e seletiva ou nominal) (Moura, 2007)

O primeiro passo para se aplicar a álgebra de mapas é a identificação das variáveis principais de um sistema, o que é decompor a realidade elencando suas características. Definidas as variáveis, é necessário representá-las por discretização territorial, que é a definição da unidade territorial de análise espacial que pode ser o pixel, mas pode também ser uma unidade administrativa tais como os setores censitários ou os lotes urbanos.

Na definição das variáveis cabe ressaltar que devem ser selecionadas as variáveis que melhor explicam o objetivo de investigação, as chamadas variáveis *driven*. Contudo, diante da impossibilidade de se representar ou mapear determinados aspectos, cabe trabalhar com as variáveis *proxy*. A variável proxy pode ser utilizada no lugar de uma variável não observável ou não mensurável (Moura et al., 2010; Stahlecker e Götz, 1993). Nesse sentido, a integração de variáveis por multicritérios pode se apoiar na escolha das variáveis principais que respondam pelas características do objetivo de investigação, assim como por variáveis que respondem não diretamente, mas por associação aos objetivos de investigação.

Moura (2003, 2007) e Moura e Jankowski (2016) indicam roteiros para a Análise de Multicritérios baseados dos passos principais: (a) clara definição dos objetivos, pois isto irá definir as características principais a serem mapeadas; (b) escolha das variáveis e construção da base cartográfica e alfanumérica; (c) representação de áreas de influência ou de distribuição das variáveis representadas; (d) definição das notas dos componentes de legenda das variáveis, indicando o grau de pertinência segundo os objetivos de análise; (e) definição de pesos das variáveis, indicando a hierarquia de importância entre as variáveis; (f) verificação de resultados mediante validação, eventual calibração ou estudos de incertezas.

1.8 - Legislação brasileira a respeito da poluição sonora

No Brasil, a primeira providência legal contra a poluição sonora de que se tem notícia – e muito antes da consagração do termo “poluição sonora” – foi um decreto de 6 de maio de 1824, que trata do problema dos ruídos gerados pelos carros de bois. Este decreto “proibia o ruído permanente e abusivo da chiadeira dos carros dentro da cidade”, e seu descumprimento poderia acarretar punições que variavam de uma multa de oito mil réis até dez dias de cadeia. Caso o infrator fosse um escravo, a penalidade correspondia a cinquenta açoites (Farias, 2007).

Na sequência, a lei que tratou do assunto foi a chamada Lei das Contravenções Penais (Decreto-lei nº 3.668, de 3 de outubro de 1941), que, em seu Capítulo IV (Das Contravenções Referentes à Paz Pública), Artigo 42, prevê a aplicação das penas previstas em sua Parte Geral (multa e prisão) a quem “Perturbar alguém, o trabalho ou o sossego alheios: I – com gritaria ou algazarra; II – exercendo profissão incômoda ou ruidosa, em desacordo com as prescrições legais; III – abusando de instrumentos sonoros ou sinais acústicos; IV – provocando ou não procurando impedir barulho produzido por animal de que tem a guarda (BRASIL, 1941).

Segundo Farias (2007) o ruído excessivo passou a ser considerado um potencial “agente nocivo” no ambiente de trabalho a partir da Portaria nº 3.214, Norma Regulamentadora nº 15, publicada pelo Ministério do Trabalho em 1978, que estabelece limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente (em seu Anexo I) e para ruídos de impacto (em seu Anexo II). No entanto, o reconhecimento do ruído como causador de doenças profissionais só ocorre oficialmente a partir da promulgação da Lei 8231/91, regulamentada pelo Decreto 611/92. (BRASIL, 1991).

Conforme texto do advogado Roberto Ramalho publicado em 2011, em um portal de educação jurídica, legislação federal brasileira referente à poluição sonora, delimita alguns itens a sua competência, porém em áreas urbanas transfere a competência para legislar nesse campo aos municípios (Ramalho, 2011).

O artigo 24 da Constituição Federal:

Art. 24. Compete à União, aos Estados e ao Distrito Federal legislar concorrentemente sobre

VI – Florestas, caça, pesca, fauna, conservação da natureza, defesa do solo e dos recursos naturais, proteção ao meio ambiente e controle da poluição; VII – proteção ao patrimônio histórico, cultural, artístico, turístico e paisagístico;

§ 1º No âmbito da legislação concorrente, a competência da União limitar-se-á a estabelecer normas gerais.

O artigo 30 da Carta Magna relaciona as competências atribuídas aos Municípios, entre as quais estão as de legislar sobre assuntos de interesse local, prestar serviços públicos de interesse local e promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano.

Art. 30. Compete aos Municípios:

I – Legislar sobre assuntos de interesse local;

V – Organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial;

VIII – promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;

Como parte essencial no que concerne à legalidade e legitimidade da União de legislar sobre o tema em pauta está a definição do que é poluição, definição expressa pelo inciso III do art. 3º da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981:

Art. 3º Para os fins previstos nesta Lei entende-se por:

III - poluição, a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente:

- a) prejudiquem a saúde, a segurança e o bem-estar da população;*
- b) criem condições adversas às atividades sociais e econômicas;*
- c) afetem desfavoravelmente a biota;*
- d) afetem as condições estéticas ou sanitárias do meio ambiente;*
- e) lancem matérias ou energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos;*

Cabe destacar que a Lei nº 6.938/81, que “dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências” foi recepcionada e tem sido acatada como regulamento da Constituição Federal no campo do meio ambiente, detalhando a distribuição de competências entre os entes da Federação.

1.8.1 - Competência da União, dos Estados e dos Municípios em matéria ambiental

Os especialistas em matéria de Direito Ambiental e os técnicos da área, como engenheiros, arquitetos, químicos, entre outros, concordam unanimemente que a emissão de sons e ruídos em níveis que causam incômodos às pessoas e animais e que prejudica, assim, a saúde e as atividades humanas, enquadra-se perfeitamente no conceito de poluição legalmente aceito no Brasil.

Está entre as competências da União formuladas pela Constituição Federal de 1988, portanto, a de estabelecer normas gerais sobre o controle da poluição, entendida de forma ampla. Esta competência vem sendo cumprida particularmente nos campos da legislação ambiental e penal, como se verifica a seguir.

A legislação ambiental disciplina o controle da poluição de um modo geral, por exemplo, obrigando o licenciamento ambiental de atividades efetiva ou potencialmente degradantes e poluidoras, entre elas as que emitem elevados níveis de sons, ruídos e vibrações.

Relaciona-se, portanto, entre a legislação ambiental federal que trata da matéria a já citada Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 e a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 que *“dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências”*, cujo artigo 54 considera crime *“causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”*. (Brasil, 1981; Brasil, 1998).

Assim sendo, como a poluição sonora pode causar danos à saúde humana, afetando os sistemas auditivo e nervoso das pessoas, e inclusive causando outras doenças, tais como estresse excessivo, gastrites, problemas cardíacos e AVC; o tema pode ser enquadrado no disposto nesse artigo da lei, sujeitando-se às penas de reclusão de um a quatro anos, além de multa.

É importante salientar que na discussão do projeto que resultou na Lei nº 9.605/98, a poluição sonora chegou a ser explicitada entre os crimes ambientais, mas foi abruptamente retirada por pressão da bancada evangélica, a qual via no dispositivo a possibilidade de cerceamento da liberdade de culto.

Também o Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997 trata do controle da poluição sonora em seu art. 104 (Brasil, 1997):

Art. 104. Os veículos em circulação terão suas condições de segurança, de controle de emissão de gases poluentes e de ruído avaliadas mediante inspeção, que será obrigatória, na forma e periodicidade estabelecidas pelo CONTRAN para os itens de segurança e pelo CONAMA para emissão de gases e ruído.

§ 5º Será aplicada a medida administrativa de retenção aos veículos reprovados na inspeção de segurança e na emissão de gases poluentes e ruído.

A poluição sonora já era há muito tempo tratada na Lei nº 3.688, de 3 de outubro de 1941 – Lei das Contravenções Penais -, cujo art. 42 considera a poluição sonora uma contravenção referente à paz pública:

Art. 42. Perturbar alguém o trabalho ou sossego alheios:

I - Com gritaria ou algazarra;

II – Exercendo profissão incômoda ou ruidosa, em desacordo com as prescrições legais;

III – Abusando de instrumentos sonoros ou sinais acústicos;

IV – Provocando ou não procurando impedir barulho produzido por animal de que tem a guarda:

Pena – Prisão simples de quinze dias a três meses, ou multa.

Observa-se, portanto, que desde 1941 a Lei já protege o cidadão brasileiro dos incômodos da poluição sonora, isto muito antes de se pensar na questão ambiental da forma ampla como é tratada atualmente.

No entanto, há que se diferenciar o controle da poluição sonora dentro da abordagem dada pelas legislações ambiental, de trânsito e penal, do controle da localização, nas áreas urbanas, das atividades que a causam, este último intrinsecamente ligado ao planejamento e controle do uso do solo e das funções urbanas e, portanto, de competência exclusiva do poder municipal.

Na esfera municipal conta-se com a Lei Orgânica, que representa a lei máxima de um município. Conforme determinação da Constituição Federal, esta assegura que “os Municípios são unidades territoriais com autonomia política, administrativa e financeira, autonomia essa limitada pelos princípios contidos na própria Lei Magna do Estado Federal e naquelas das Constituições Estaduais” (BRASIL, 1988).

A Lei Orgânica Municipal pode ser definida como sendo a Constituição Municipal, cuja principal função é a de organizar a Administração e a relação entre os órgãos do poder Executivo e Legislativo, disciplinando a competência legislativa do

município, observando sempre as peculiaridades locais, bem como sua competência comum (Brasil, 1988).

Diversas cidades brasileiras em consonância com o Estatuto da Cidade preveem o instrumento do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV). Este faz a mediação entre os interesses privados dos empreendedores e o direito à qualidade urbana daqueles que moram ou transitam em seu entorno. O EIV tem como objetivo controlar os poluentes (atmosférico e sonoro) e diminuir o impacto causado à comunidade, além de outros instrumentos como o de zoneamento que também controla o conflito de áreas.

Devido à Lei Orgânica que passa ao município a competência de atuar nas questões de poluição sonora, algumas cidades brasileiras implementaram leis sobre o ruído urbano. Porém, algumas dessas leis são mais permissivas que as normas federais e, nesses casos, devem ser usadas as mais restritivas. Por outro lado, para as cidades que não possuem nenhuma legislação específica, a regra é seguir o que as legislações federais apontam, no caso, as normas da ABNT.

No caso de Minas Gerais, dispõe-se da Lei Estadual Lei nº 7.302, de 21 de julho de 1978 sobre a Proteção contra a poluição sonora no Estado de Minas Gerais, e a Lei nº 10.100, de 17 de janeiro de 1990, que altera a redação do 2º artigo da lei anterior. A cidade de Belo Horizonte, possui a Legislação Municipal de nº 9.505 de 23 de janeiro de 2008 sobre o Controle de ruídos, sons e vibrações no município de Belo Horizonte. Ambas estabelecem limites dos níveis de pressão sonora segundo o período e nenhuma delas leva em consideração o zoneamento geográfico (Minas Gerais, 1978; Minas Gerais, 1990; Belo Horizonte, 2008).

Nota-se, tanto na legislação estadual mineira quanto na municipal, um descaso com as áreas que deveriam ser menos ruidosas, tratando-as de forma igualitária em relação a todas as outras regiões dentro do zoneamento da cidade. Além disso, os níveis permitidos excedem aos da norma federal recomendada.

Capítulo 2 - Caracterização da área de estudo

A área de estudo selecionada está localizada na regional Centro-sul do município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais (Figura 10). Compreende o plano urbano original da cidade elaborado por Aarão Reis (Figura 11), segundo o pensamento positivista vigente na instalação da República. A área de 8.815.382 m² delimitada pela Avenida do Contorno possui características morfológicas bem definidas: quarteirões de 120 m × 120 m divididos pelas ruas largas com 20 metros, em traçado retilíneo, que se cruzam em ângulos retos e por avenidas com cerca de 35 metros de largura que cortam as ruas em ângulos de 45°, o que torna a malha urbana regular e por isso mesmo fácil de ser analisada e ter suas porções comparadas (Figura 11). Tendo em vista que o espaço possui regularidade espacial, o comportamento das variáveis que incidem sobre a paisagem sonora é mais facilmente analisado e pode ser classificado segundo impactos e condições específicas.

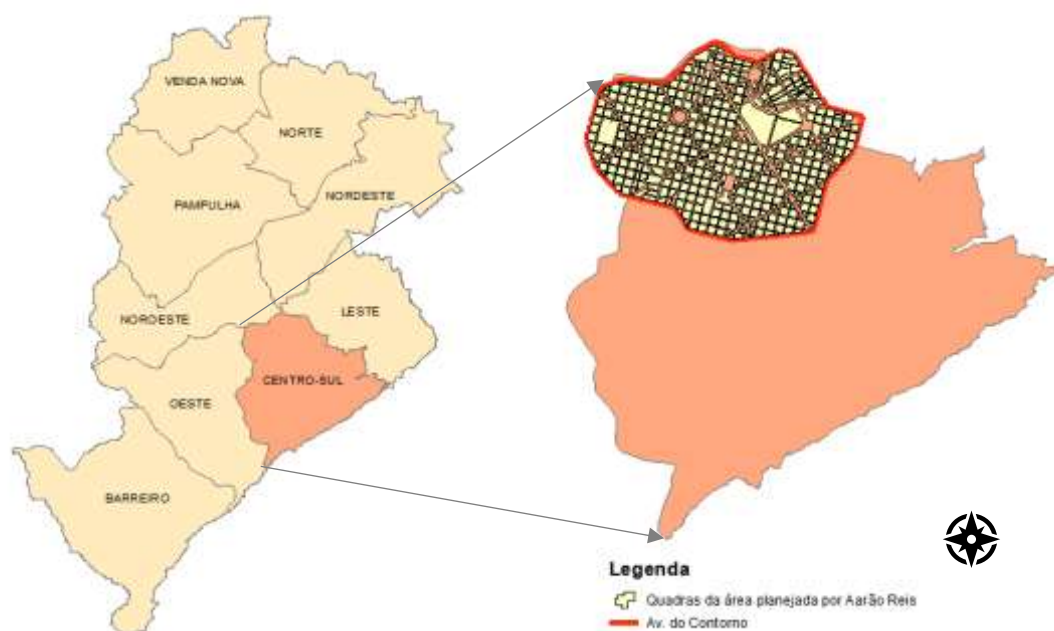


Figura 10 - Localização da área de estudo. Fonte: O Autor

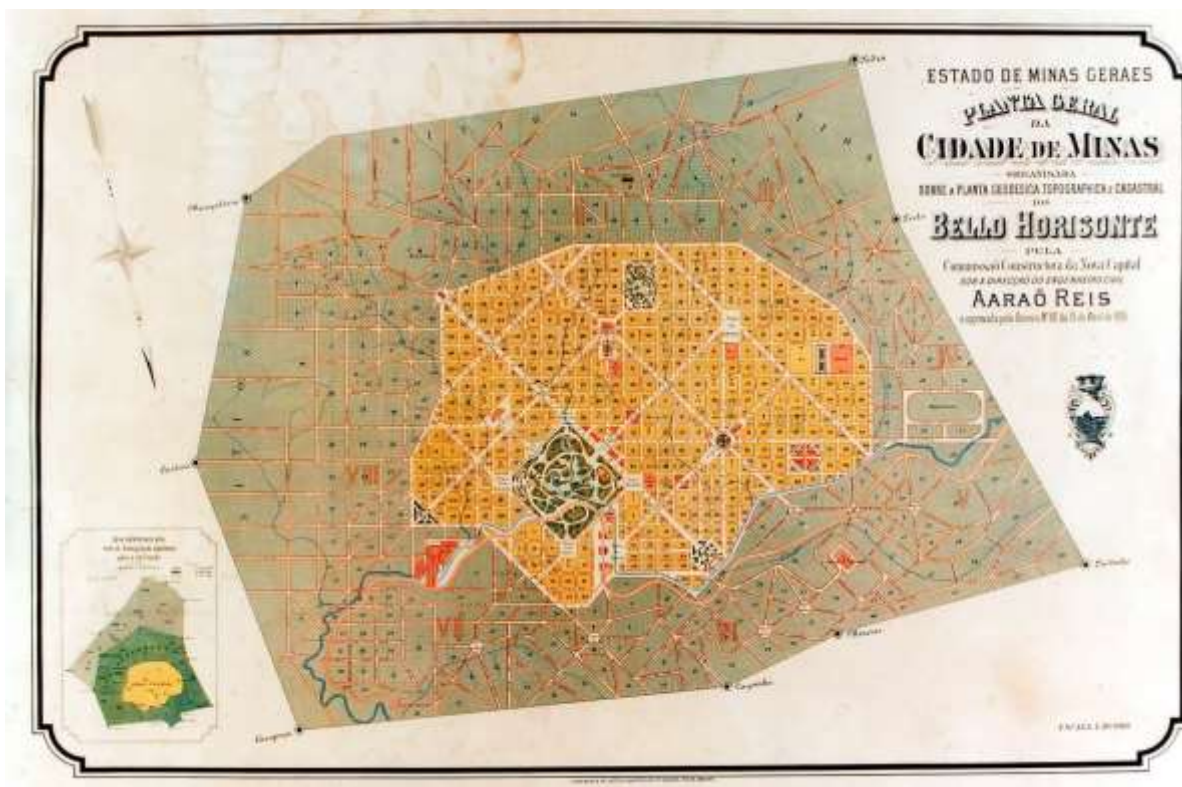


Figura 11 - Projeto Original de Aarão Reis. Fonte: Mapa Histórico Digital de Belo Horizonte, 2014

A porção delimitada pela Avenida do Contorno é também uma das áreas mais densamente ocupadas do município, onde se concentram os principais centros de comércio e serviços, pontos de baldeação de transporte e possivelmente a maior parte da poluição sonora do município de Belo Horizonte, especialmente aquela advinda do tráfego veicular.

Uma das características da área de estudo, que pode intensificar os efeitos da poluição sonora é sua verticalização expressiva, que torna a formação dos cânions urbanos uma constante na paisagem, algumas vezes agravada pela topografia que de grandes desníveis. O impacto do relevo irregular da capital mineira na morfologia dos cânions pode ser verificado ao compararmos o Mapa 1 – Classificação da Altura das Edificações com o Mapa 2 – Classificação das Edificações pela Cota de Topo, algumas edificações apesar de terem poucos pavimentos formam cânions profundos a jusante do relevo por terem sido implantadas na mesma cota da via lindeira de maior altitude.

2.1 - Altura das edificações

Para a composição das análises foi necessário produzir uma coleção de mapas representativos de condições da realidade urbana existente. Para análise da morfologia foi, inicialmente, produzido o mapa da Figura 12 relativo às alturas das edificações, seguido do mapa da Figura 13 de cota de topo das edificações que associa as alturas ao relevo, identificando a cota máxima atingida pelo volume edificado. Observa-se que a área de estudo apresenta predominantemente edificações entre as alturas de 25 e 75 metros, o que significa que é uma área de expressiva verticalização. A porção leste da área possui verticalizações menores, mas mesmo assim o predomínio é entre 10 e 25 metros. A associação das alturas com a topografia destaca a porção sul da área, onde se pode notar que o efeito da verticalização é potencializado pela posição da massa edificada na topografia. Contudo, a variação topográfica não é suficiente para se diminuir a condição de área homogênea, de um modo geral, pois para a análise da performance das variáveis e modelos propostos é interessante que exista uma condição de baixa variabilidade para que se possa interpretar a variável em si e a adequabilidade de sua escolha. Diante do observado, é confirmado que o recorte escolhido como estudo de caso é claramente caracterizado pela verticalização, com massas volumétricas que são de interesse de estudos de impacto da morfologia na paisagem sonora.

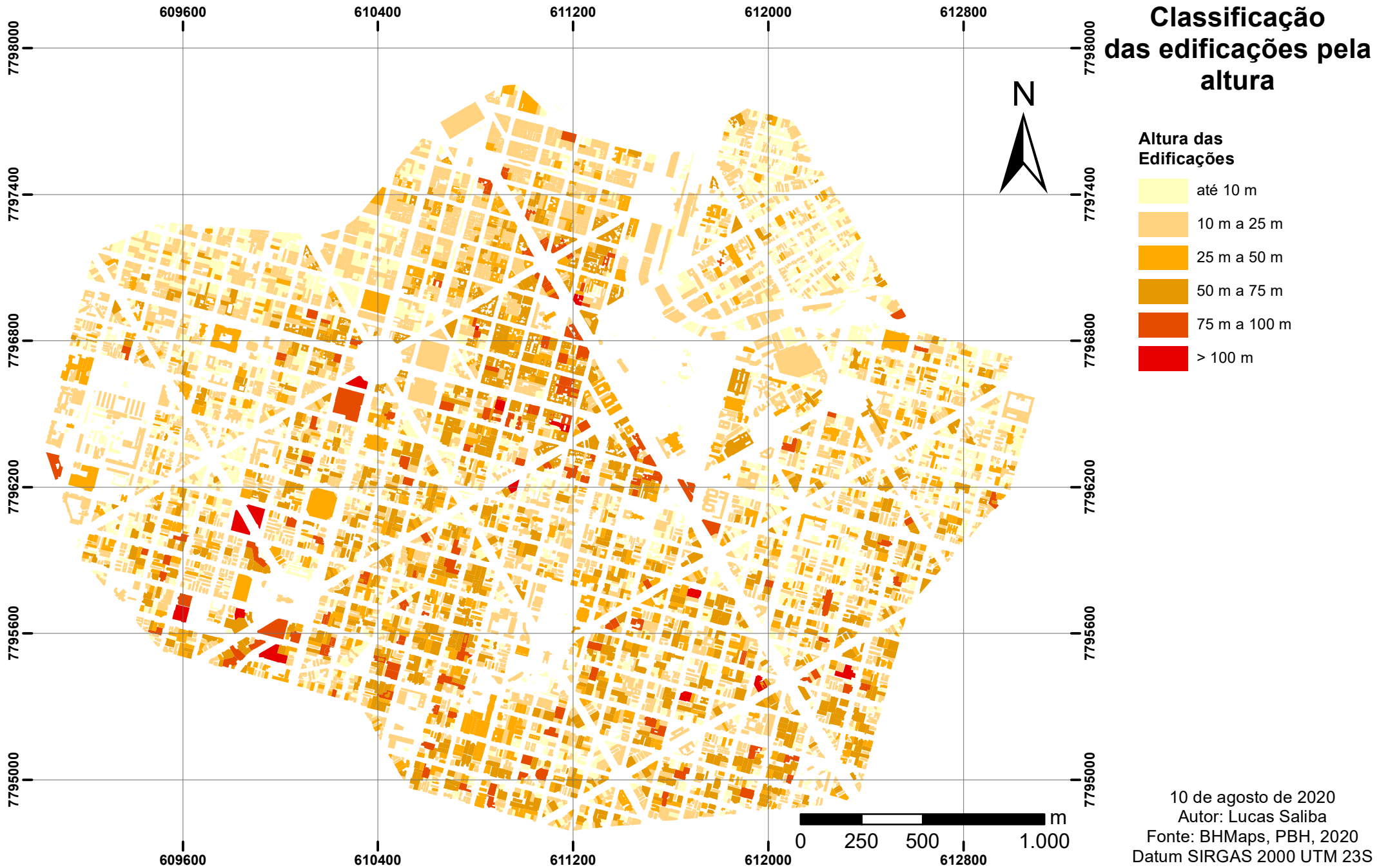


Figura 12 - Mapa de classificação das edificações pela altura. Fonte: O autor, a partir de dados da PBH.

10 de agosto de 2020
 Autor: Lucas Saliba
 Fonte: BHMaps, PBH, 2020
 Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

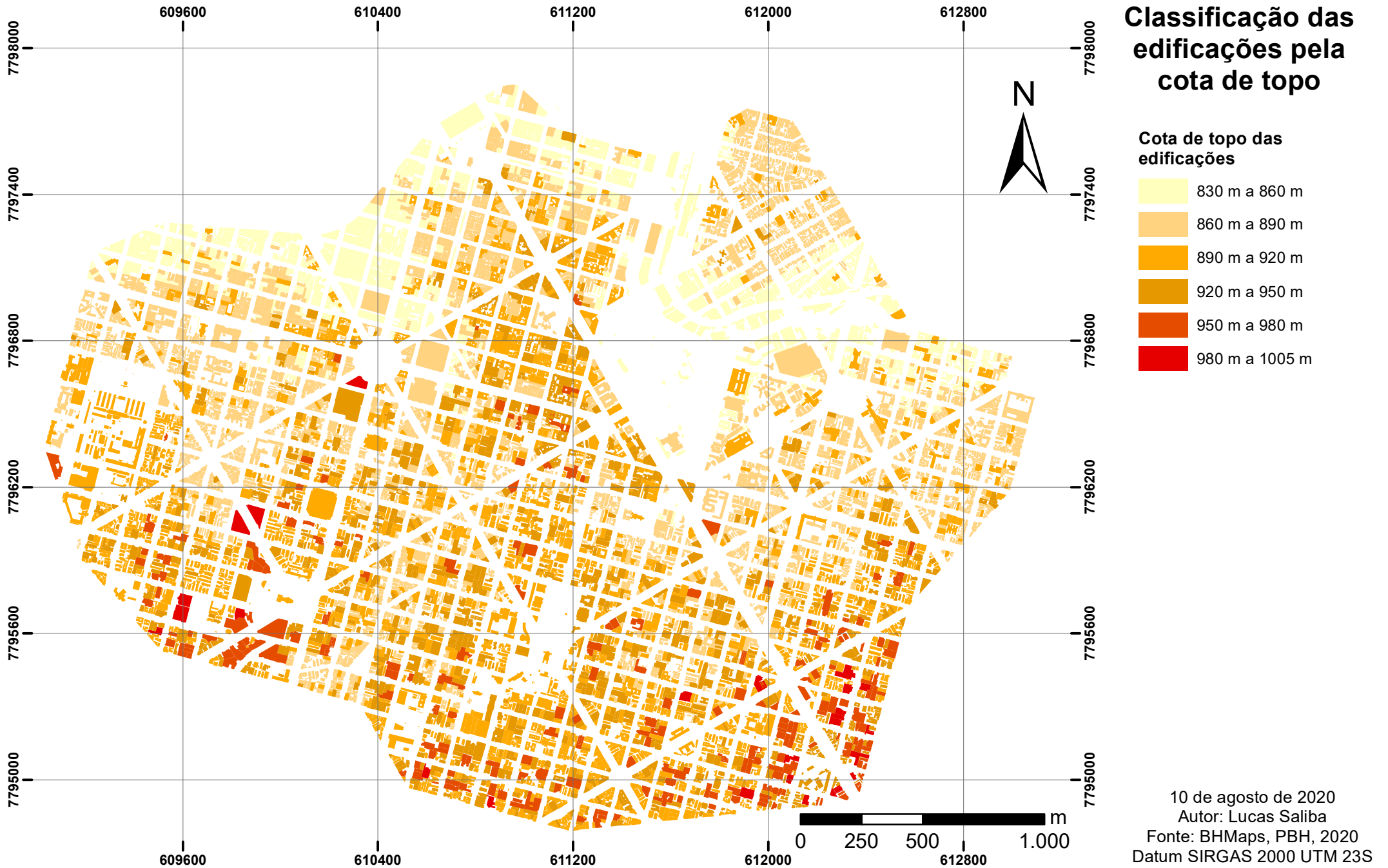
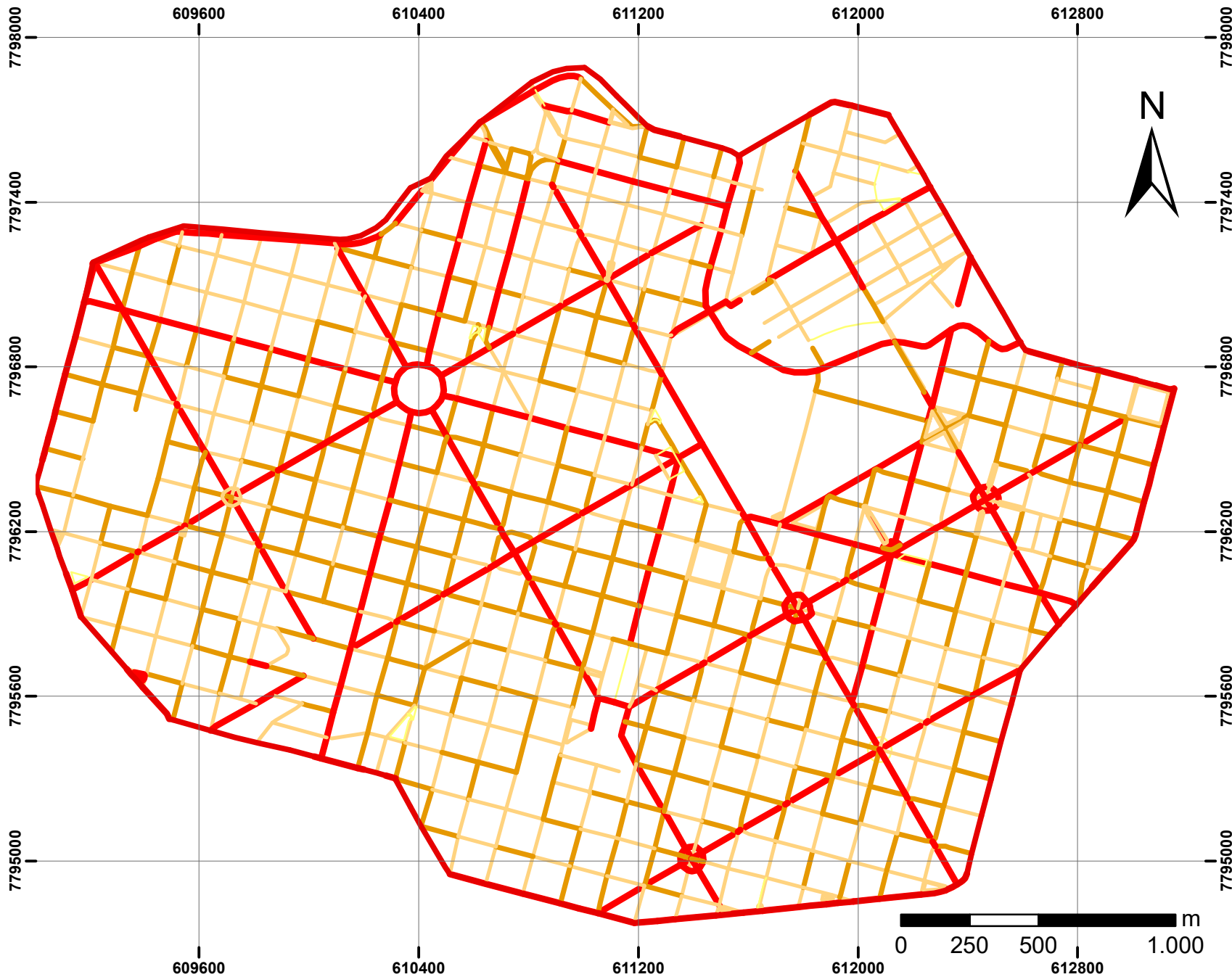


Figura 13 -Classificação das edificações por altura e Classificação das Edificações pela Cota de Topo. Fonte: O autor, a partir de dados da PBH.

2.2 – Largura das Vias

Foi de interesse criar o mapa representativo da média da largura das vias envoltas pela Av. do Contorno (Figura 14). Conforme o plano de Aarão Reis as avenidas aparecem com mais de 30 m de largura, e as ruas tem cerca de 20 m com exceções, pois algumas vias não previstas no projeto original foram abertas para possibilitar a canalização dos cursos d'água, como por exemplo as Ruas Marília de Dirceu e Padre Belchior que cobrem trechos do leito do Córrego do Leitão. O objetivo foi também identificar padrão morfológico de cidade planejada e a homogeneidade de elementos principais da paisagem, o que também favorece o estudo de caso por permitir a análise de performance das variáveis *driven* escolhidas no recorte de investigação.



Largura das Vias

Largura média do trecho

- < 10 m
- 10 m a 20 m
- 20 m a 30 m
- > 30 m

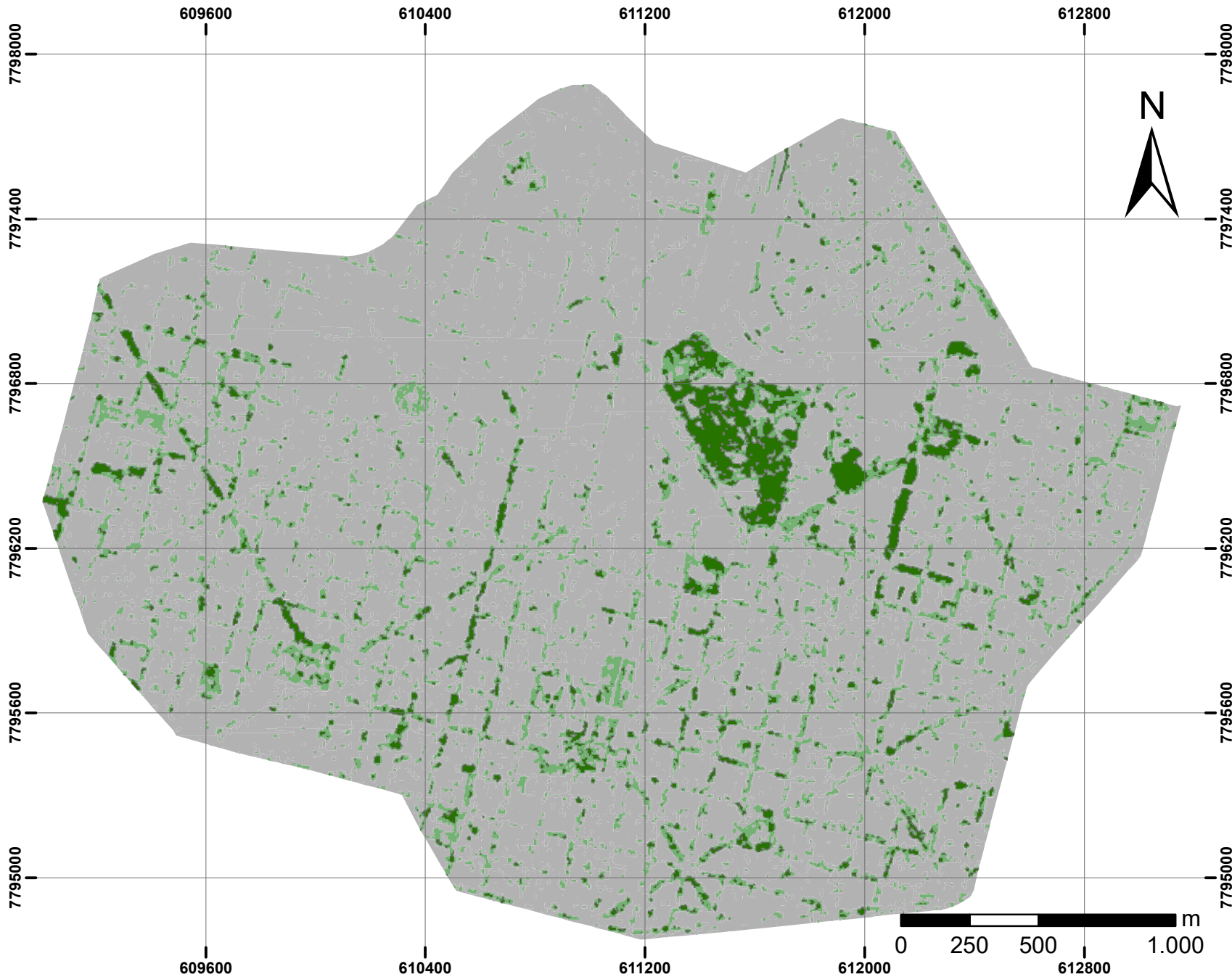
10 de agosto de 2020
 Autor: Lucas Saliba
 Fonte: BHMmaps, PBH, 2020
 Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 14 – Largura média das vias. Fonte: O autor, a partir de dados da PBH.

2.3 – Cobertura Vegetal

Como parte das condições do ambiente é também de interesse mapear a condição de distribuição da cobertura vegetal, com destaque para a análise de seu volume, pois ele incide sobre a amortização das emissões sonoras. O mapeamento das condições da vegetação foi realizado a partir de imagens Rapid-Eye com resolução de 5 metros, do ano de 2012. A partir das bandas do vermelho e do infravermelho da imagem é possível calcular o NDVI, o *Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. O NDVI, proposto em 1973 por Rouse, é um índice que analisa a condição da vegetação por meio de sensoriamento remoto e avaliação do comportamento espectral dos alvos, pois eles apresentam respostas específicas relacionadas à condição de fotossíntese, cujo processo absorve a radiação solar na região do vermelho. Quanto mais robusta a vegetação mais suas células refletem na banda do infravermelho próximo (NIR), e absorvem na banda do vermelho (R), de modo que a relação entre os valores da banda resulta em um índice de -1 a $+1$ para a robustez da vegetação (Rouse et al., 1973; Myneni et al., 1995; Rocha et al., 2017).

Como resultado, observa-se a concentração da vegetação robusta, que tem caráter de condição volumétrica expressiva, apenas no Parque Municipal, mas há também a conformação de vegetação expressiva em algumas avenidas. A vegetação de arbustiva a rasteira é observada em praças e em alguns eixos viários. Pode-se afirmar que a área de estudo é medianamente arborizada nas vias, e que a distribuição da vegetação, sobretudo a robusta, será variável de interesse na elaboração da análise da área (Figura 15).



Cobertura Vegetal por NDVI

Cobertura Vegetal

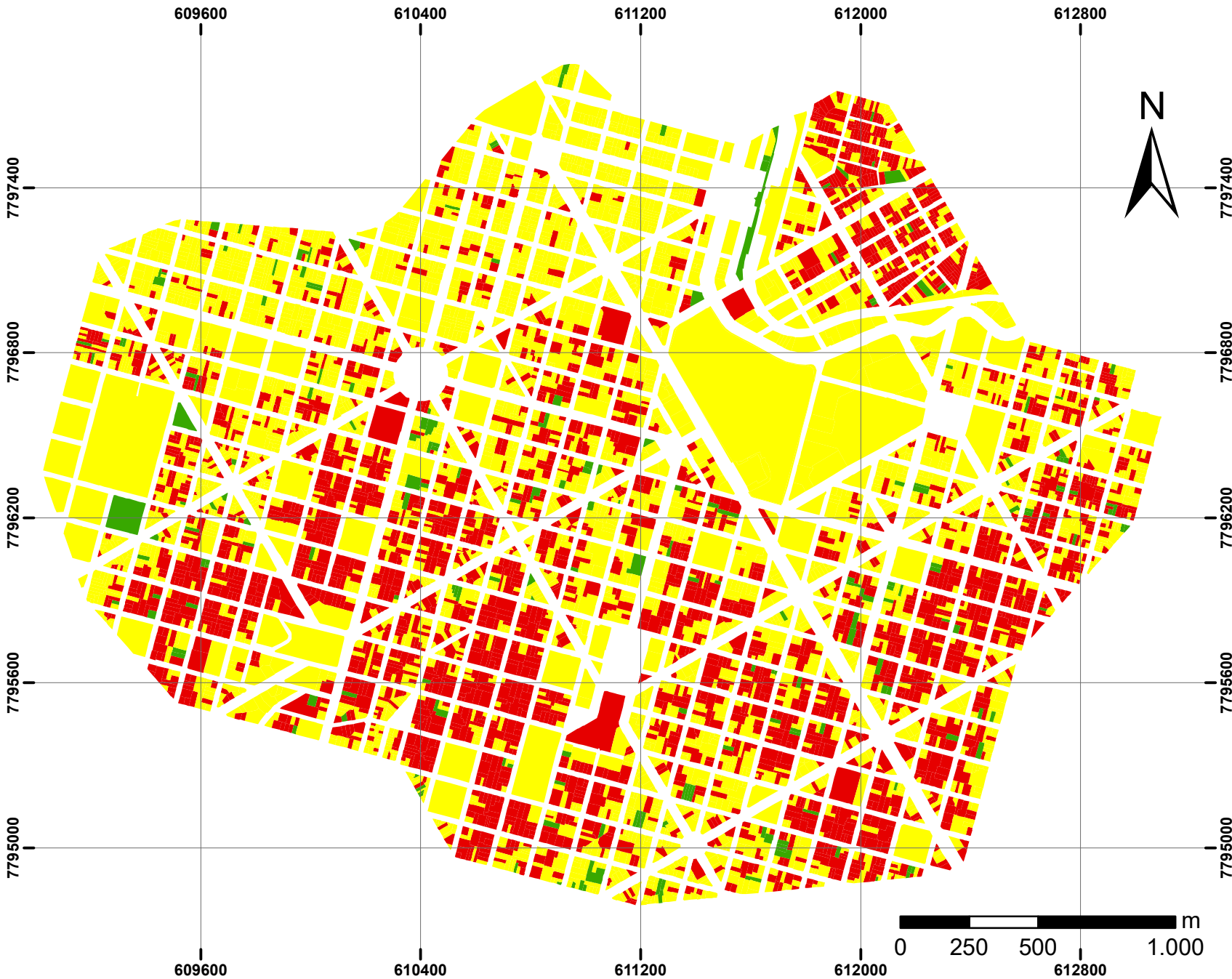
- Sem Vegetação
- Vegetação Rasteira ou Arbustiva
- Vegetação Robusta ou Arbórea

10 de agosto de 2020
 Autor: Lucas Saliba
 Fonte: Sentinel-2, 2020
 Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 15 - Classificação do Cobertura Vegetal por NDVI. Fonte: O autor, a partir de imagem Rapid-Eye

2.4 – Uso do Solo

A partir de dados de uso do solo da PBH, foram identificadas as distribuições de uso residencial, não residencial e os lotes vagos (Figura 16). O interesse no mapeamento das condições de uso do solo se justifica pela identificação das áreas residenciais que são mais vulneráveis ao impacto da poluição sonora, quando se estuda a questão da vulnerabilidade antrópica na área urbana. O que se observa no mapa produzido é que a área central de Belo Horizonte, delimitada pelo anel da Av. Do Contorno, ainda é bastante residencial, embora existam áreas claramente de predomínio não residencial. A variável, a nosso juízo, deve ser considerada como variável *driven* nos estudos do impacto da poluição sonora.



Classificação do Uso do Solo

- Tipo de Ocupação**
- Residencial
 - Não Residencial
 - Lote Vago

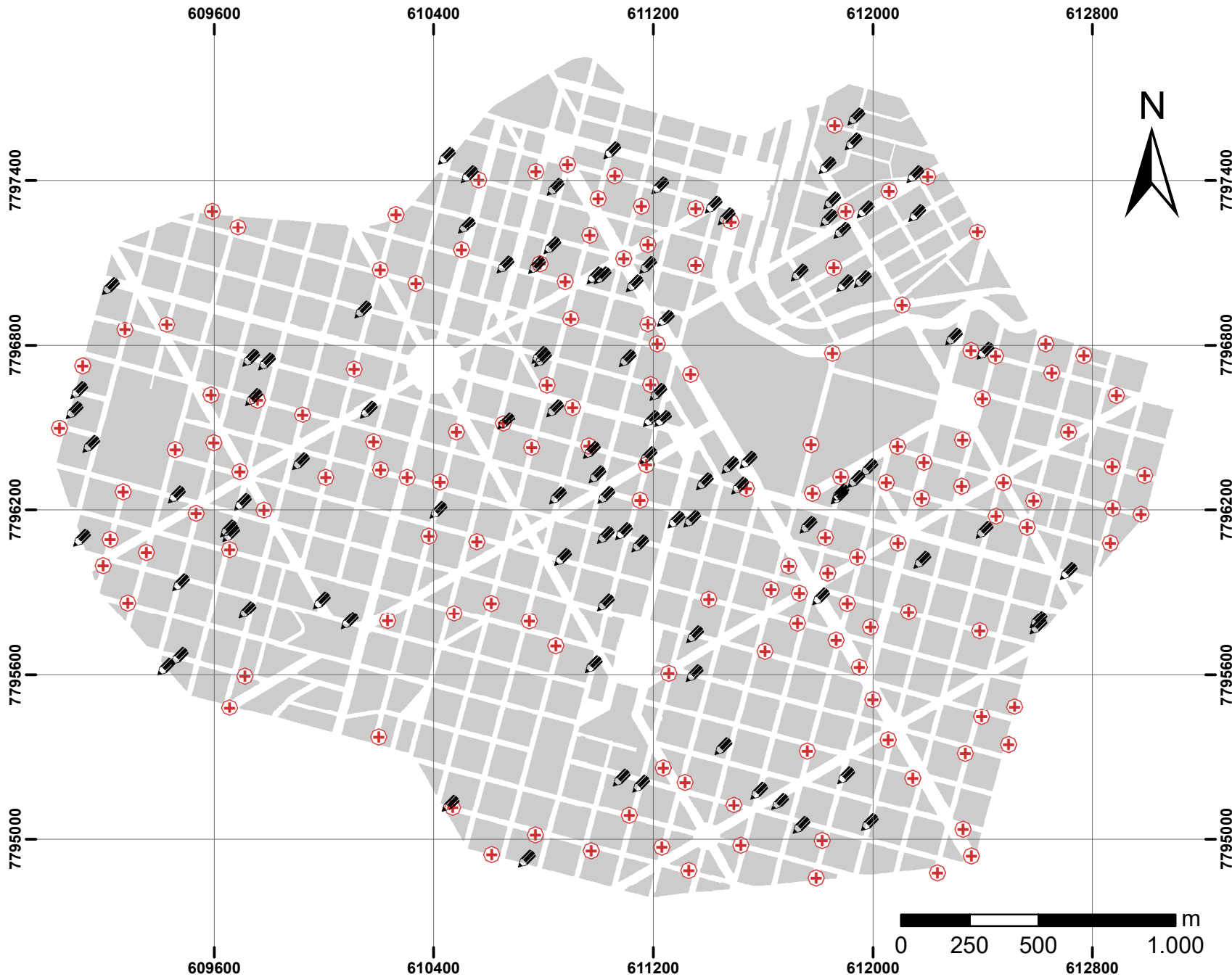
10 de agosto de 2020
 Autor: Lucas Saliba
 Fonte: BHMaps, PBH, 2020
 Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 16 - Classificação quanto ao uso residencial. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH.



2.5 – Unidades Educacionais e de Saúde

Com o intuito de identificar áreas de influência dos serviços urbanos que mais seriam afetados pela poluição sonora, foram selecionadas como variáveis *driven* a localização de unidades de educação (escolas, em todos os seus níveis) e de saúde. A localização georreferenciada deste tipo de atividade pode ser obtida através da plataforma da IDE (Infraestrutura de Dados Espaciais), da Prefeitura de Belo Horizonte disponível na plataforma de BH Maps, onde as camadas foram obtidas (Figura 17). Estes dados também estão presentes na INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), que é uma plataforma de dados lançada pelo extinto Ministério do Planejamento, mas ainda disponível para todos os municípios brasileiros.

Observa-se a expressiva presença de escolas e unidades de serviços de saúde na área de estudo, embora com concentração da área de influência do hipercentro. Nesse sentido, como objetivo é usar a avaliação da área de influência desses serviços como regiões de vulnerabilidade, uma vez que a presença nociva da poluição sonora é impacto à saúde das pessoas que precisam usar os serviços e ali permanecerem por um tempo, julgamos que as variáveis são representativas na área de estudo e favorecerão o estudo da distribuição da fragilidade aos impactos.



Localização das Unidades de Saúde e Instituições de Educação

-  Intituições de Ensino
-  Unidades de Saúde

10 de agosto de 2020
 Autor: Lucas Saliba
 Fonte: BHMmaps, PBH, 2020
 Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 17 - Localização de escolas e unidades de saúde. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH

2.6 – Carregamento de Tráfego Veicular

Os dados sobre o carregamento do tráfego nas vias foram obtidos através da BHTrans, Prefeitura de Belo Horizonte. O carregamento de uso das vias é variável importante que assume o papel de *proxy*, ou seja: de responder por uma outra variável que não se consegue mensurar. Isto porque não foi possível medir com precisão o ruído nas vias da área de estudo, em função de falta de condições de acesso a equipamentos e ao alto custo que isto poderia significar. Como o objetivo do trabalho é demonstrar que se pode dar apoio a estudos sobre a paisagem sonora atuando de modo expedito, com baixo custo, mas já suficientemente eficaz para identificar vulnerabilidades e potencialidades, cabe a inclusão da variável.

Observa-se que os maiores carregamentos se concentram nas grandes avenidas, onde eles chegam a acima de 5000 veículos por hora. Toda a área é muito impactada pelo tráfego, pois observa-se a expressiva concentração nas grandes avenidas, mas mesmo nas ruas internas há o predomínio da circulação média de 1000 veículos por hora (Figura 18). Pode-se dizer que a distribuição espacial e os altos números favorecem o estudo do impacto da poluição sonora e justificam a escolha da área de estudo. Desta forma, a variável responde pela distribuição da poluição sonora originada por veículos na área central de Belo Horizonte.

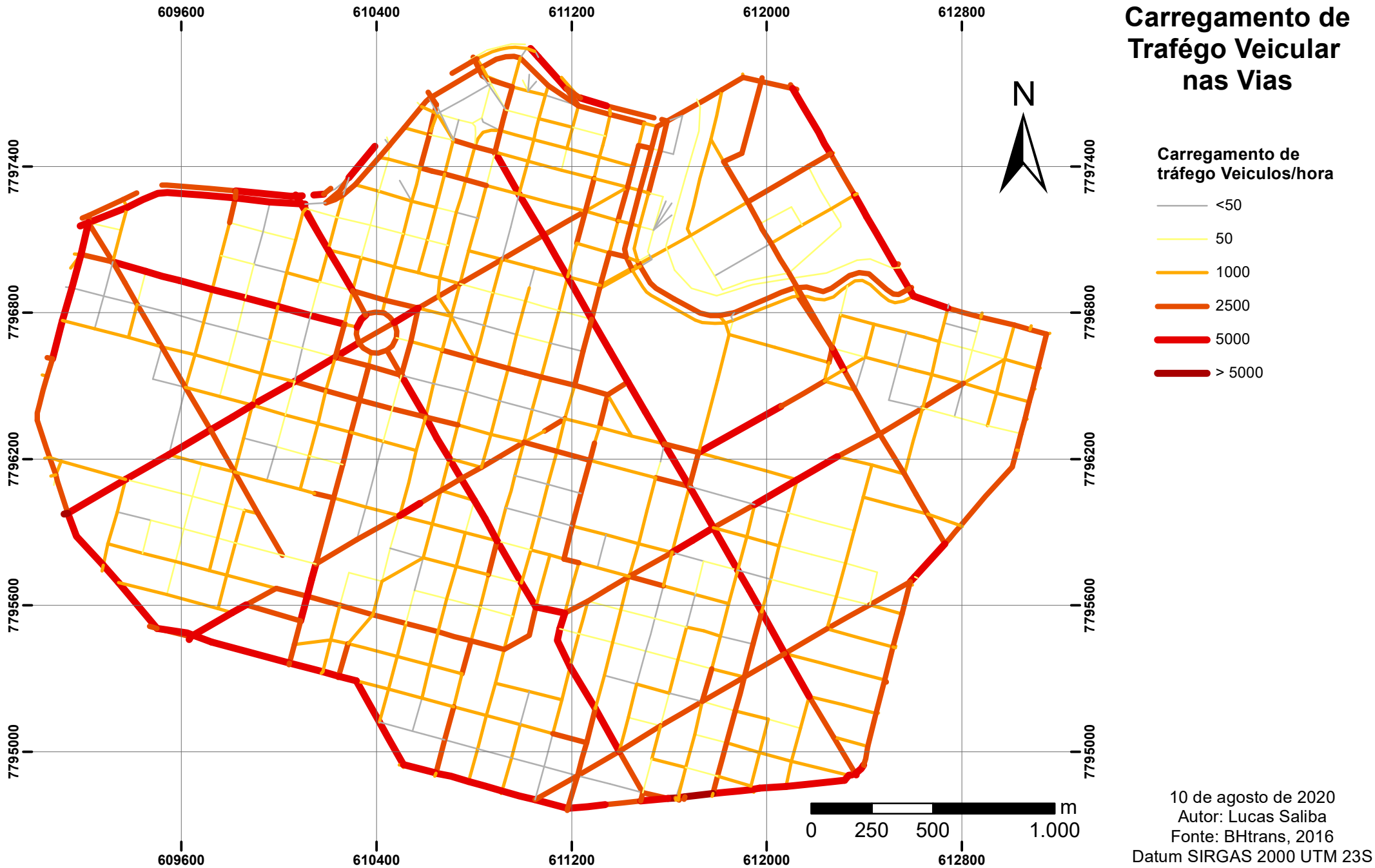


Figura 18 - Carregamento do tráfego nas vias. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH

2.7 – Classificação Viária

A classificação viária é uma análise que geralmente é feita pelos municípios quando da elaboração de seus Planos Diretores, pois ela é definidora de tipologias de uso e ocupação. No exemplo de Belo Horizonte é a partir da classificação viária que são autorizados usos de comércio, serviços e indústrias, segundo os níveis 1, 2 e 3 (por área de influência local, de bairro ou regional), segundo suas dimensões edificadas, número de pessoas na atividade e número de pessoas que são atraídas pela atividade. Assim, a classificação viária está diretamente relacionada ao porte das atividades (menor a maior porte) e ao impacto das atividades (menor ou maior área de influência) segundo os níveis 1 a 3. Pode-se afirmar, também pela lógica de variável *proxy*, que a classificação viária está associada à densidade e impacto de usos de comércio, serviços e indústrias.

A análise da distribuição na área central de Belo Horizonte surpreende por nivelar todas as vias como “arteriais”, praticamente não existindo vias de caráter local. Isto significa que há plena autorização de usos de diferentes portes de atividades, salvo restrições que possam existir segundo legislação específica para determinadas tipologias de uso (Figura 19). Com a absoluta repetição do mesmo padrão em toda a área, esta variável não irá resultar em impacto na análise de combinação e integração com outras variáveis, mas cumpre o papel de demonstrar a grande permissividade de usos na área.



Classificação do Sistema Viário

- Tipo de Via**
- Arterial
 - Coletora
 - Local
 - Sem Clarificação

10 de agosto de 2020
 Autor: Lucas Saliba
 Fonte: BHtrans, 2016
 Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 19 - Classificação viária. Fonte: o autor, a partir de dados da PBH

Capítulo 3 - Materiais e Métodos

A criação de mapas acústicos tradicionais é onerosa, tanto do ponto de vista econômico quanto de mobilização de equipe, pois exige um grande número de dados coletados em campo. Assim este estudo explora o uso de métodos simplificados de análise espacial a fim de tornar o planejamento acústico do território menos dispendioso, porém eficiente para o propósito do planejamento urbano de macroescala. O objetivo é uma abordagem possível de ser reaplicada e que resulte no equilíbrio entre análise e proposição, para que já surjam ideias possíveis de serem consideradas em planejamento de uso e ocupação do solo e em regulamentação da paisagem urbana por parâmetros urbanísticos.

Desta forma esta pesquisa se caracteriza como de natureza prática, pois procura gerar conhecimentos para a aplicação prática de métodos conhecidos de análise espacial e ambiental para a solução de problemas específicos que são a poluição sonora e o controle de ruído urbano. “*Conta ainda com a interpretação de verdades e acontecimentos locais*” (Prodanov e Feitas, 2013, p. 51).

A abordagem tem caráter exploratório, de acordo com os preceitos de Prodanov e Feitas, 2013, porque é ainda incipiente e tem como finalidade proporcionar mais informações sobre métodos de investigação da poluição sonora utilizando técnicas consagradas de geoprocessamento e análise espacial, procurando assim delimitar variáveis *proxy*³ que podem ser utilizadas para mapear áreas mais frágeis acusticamente, por suas características morfológicas e de uso do solo, sem necessariamente mensurar os níveis de pressão sonora *in loco* e usando dados básicos para gerar mapas de macroescala.

As mensurações em campo, forma de mapeamento recomendada por Kluijver e Stoter, 2003, para os planos e políticas acústicas como suporte ao planejamento urbano e com o emprego de modelos computacionais tradicionalmente utilizados, são demasiadamente detalhados na escala das edificações, resultando em longos

³ Em estatística *Proxy* ou Variável *Proxy* é uma variável que não representa o fenômeno por si mesma, mas pode ser utilizada para mensurar ou estimar uma variável de difícil mensuração ou observação.

períodos de processamento, que poderiam ser substituídos por modelos mais simples, com menos dados, mas com acurácia adequada à macroescala e que podem ser gerados em menos tempo.

Para tanto esta pesquisa se apropriou do método *Multicriteria Analyses – MCA* (Análise Multicritérios) consolidado nas práticas de geoprocessamento aplicado ao planejamento espacial. De acordo com Malczewski, 1999 e Moura, 2005 é uma estratégia básica que divide problemas complexos de tomada de decisão ou gestão espacial em partes menores e mais facilmente inteligíveis, analisa cada uma delas e as integra de forma lógica para produzir resultados compreensíveis e validáveis. Os modelos de avaliação e análise multicritérios conforme o fluxograma da Figura 20

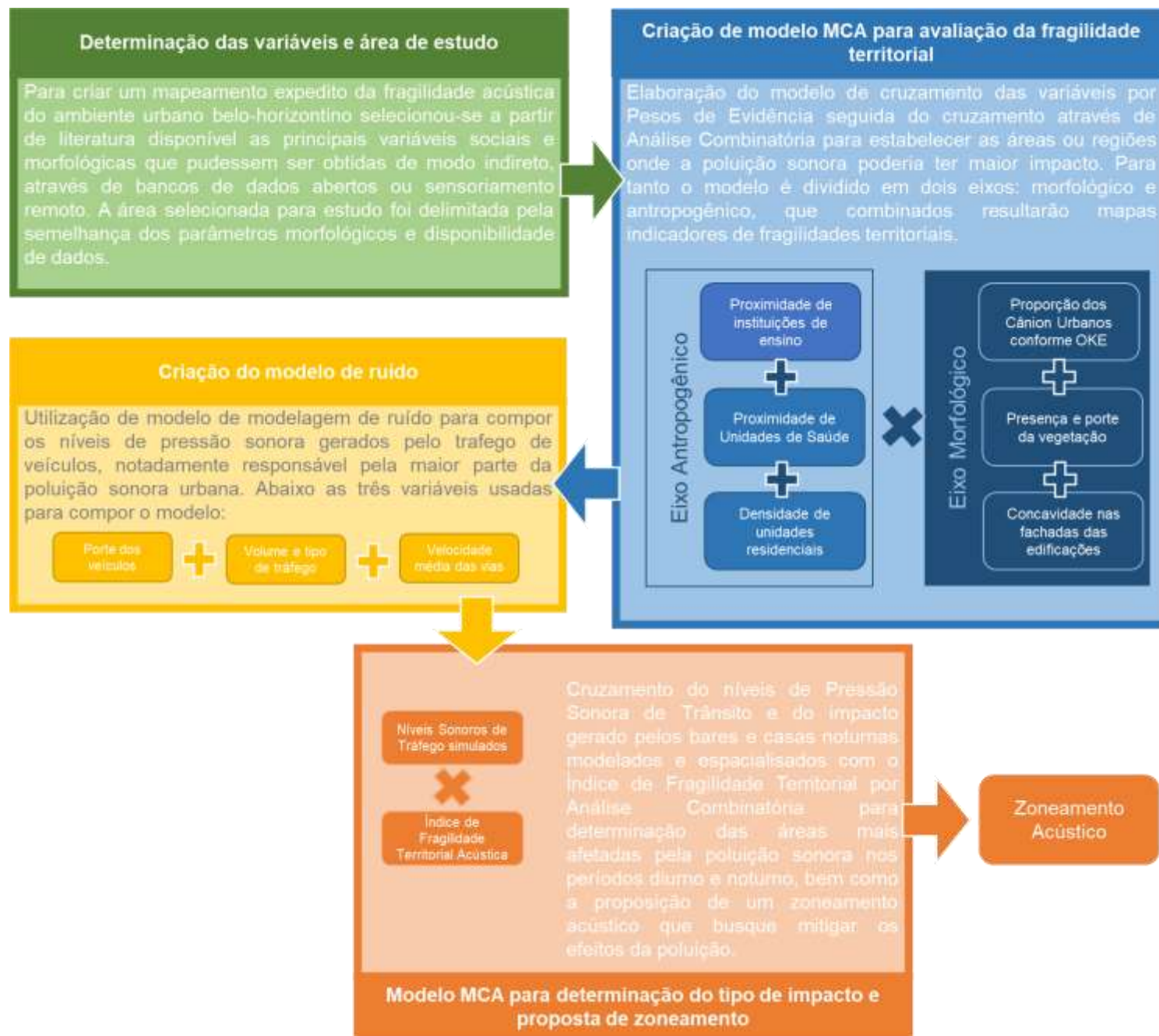


Figura 20 - Diagrama metodologia. Fonte: O autor

3.1 – Determinação das variáveis e área de estudo

Para realizar a primeira etapa da Análise Multicritérios, ou seja, decompor o problema (poluição sonora) em partes menores foram consideradas três aspectos principais deste fenômeno:

O primeiro, as *Fragilidades Antropogênicas* relacionadas o uso do solo, sendo os usos mais frágeis aqueles de permanência prolongada, definidos na ABNT 10.151/2019 relativa a Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral, como áreas que abrigam residências, hospitais e escolas. Almeida Chiquito et al. (2018) destacam que esses usos podem ser indicadores de densificação da ocupação do território, por normalmente estarem em áreas com uso consolidado, ao mesmo tempo que são indicativos de presença de serviços e facilidades mínimas na vida urbana cotidiana.

O segundo aspecto é a *Potencial de Difusão Acústica do Território*, no qual se integraram as variáveis físicas descritas pela literatura como capazes de intensificar a propagação e reverberação do som no espaço urbano e, conseqüentemente, amplificarem a poluição sonora. Foram consideradas para este estudo apenas aquelas características mapeáveis através de análises indiretas, já que uma das premissas deste estudo é a criação de mapas de baixo custo, portanto com a utilização de dados previamente existentes em bancos dados públicos.

Por fim, o terceiro aspecto são as *Fontes Emisoras*, para a qual se considerou o tráfego de veículos, responsável pela maior parte da poluição sonora nos centros urbanos durante o período diurno.

3.2 – Criação do modelo MCA para avaliação das fragilidades territoriais

A Fragilidade Acústica do Território (FAT) foi determinada com base nos dois eixos de análise: morfológico e antropogênico. Essa fase consistiu de três partes, sendo duas iniciais de integração de vulnerabilidades segundo fatores antropogênicos e vulnerabilidades segundo o ambiente e sua morfologia, seguido da integração entre as abordagens parciais:

(1) a integração e sintetização das fragilidades antropogênicas por Pesos de Evidência, dada pela concentração de residências e proximidade de equipamentos comunitários de uso prolongado representados pelas instituições educacionais e de saúde;

(2) a integração e síntese das fragilidades morfológicas, também por Pesos de Evidência, que tomou como base a identificação dos cânions urbanos e seu grau de impacto estabelecido por Oke (1988) como a relação entre a altura e a profundidade do cânion, a convexidade das fachadas e presença e porte da vegetação.

(3) a integração dos itens 1 e 2, quando a partir dos índices dos dois eixos foi realizada a Análise Combinatória, onde a sobreposição de fragilidades representa locais com alto potencial de impacto, pois combinam uma grande concentração de pessoas e alta capacidade de difusão dos sons e ruídos.

Cabe lembrar que a Análise de Multicritérios aceita integração de variáveis segundo os Pesos de Evidência quando o objetivo é produzir um ranking, uma classificação hierárquica, ao passo que a mesma Análise de Multicritérios integra variáveis por Análise Combinatória quando o objetivo é identificar as presenças de arranjos de condições.

Através do método de Pesos de Evidência objetiva-se hierarquizar as porções do território segundo um índice classificatório relativo, baseado na aglutinação e no peso das variáveis investigadas. O peso de cada variável pode ser dado pela média aritmética (Figura 21) ou pelo peso atribuído (Figura 22) pelo pesquisador segundo algum método de decisão. Esse processo é interessante para se classificar

vulnerabilidades, potencialidades, interesses e probabilidades, ou seja, tudo que exige um ranking classificatório (Moura, Tondelli e Muzarrelli, 2018; Rocha, Moura e Casagrande, 2018), o que no caso deste estudo é a fragilidade acústica.

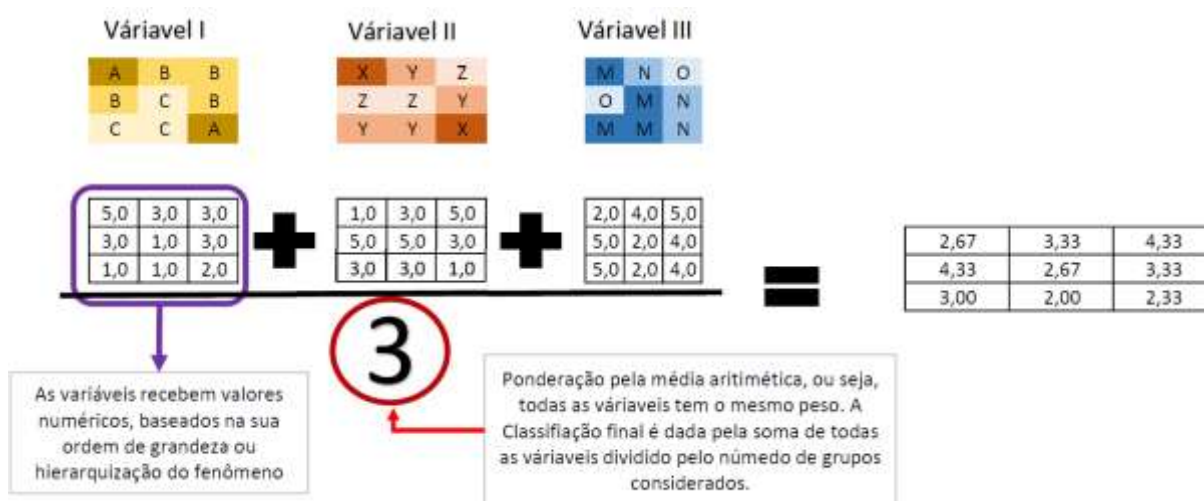


Figura 21 - Combinação das variáveis por média aritmética. Fonte: Adaptado pelo autor de Rocha, Moura e Casagrande, 2018

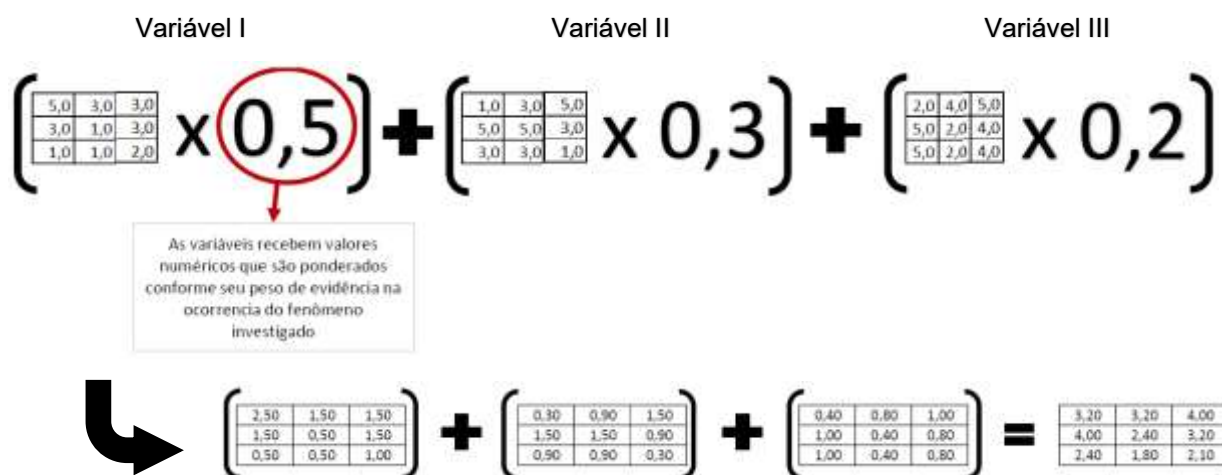


Figura 22 - Combinação das variáveis por média-ponderada. Fonte: Adaptado pelo autor de Rocha, Moura e Casagrande, 2018

Em um segundo momento foi realizada a Análise Combinatória para que se tomasse conhecimento das coincidências territoriais das variáveis, que agravassem ou mitigassem o impacto do fenômeno estudado, fornecendo informações não hierarquizada, mas sim qualitativa e seletiva (Rocha, Moura e Casagrande, 2018). Para tanto a forma mais difundida de combinação de variáveis é a criação de uma matriz de coexistência de condições (Figura 23), onde os elementos de uma variável A são dispostos em uma coluna e os elementos de uma variável B em nas linhas de

uma tabela, permitindo a análise e interpretação dos dados par-a-par (Xavier-da-Silva, 2001; Buzai, Cuetara e Baxendale, 1997; Bonham-Carter, 1994).

		Variável B		
		X	Y	Z
Variável A	A	A+X	A+Y	A+Z
	B	B+X	B+Y	B+Z
	C	C+X	C+Y	C+Z

Figura 23 - Matriz de Combinação par-a-par. Fonte: a autor

3.3 – Simulação dos Níveis de Pressão Sonora das fontes emissoras

A primeira parte da análise consistiu em criar um mapa das áreas mais frágeis acusticamente, porém o impacto da poluição sonora só poderia ser verificado com o cruzamento dos níveis de pressão sonora identificados naqueles locais.

Assim seguindo os preceitos expostos por Kluijver e Stoter, 2003, optou-se pela simulação dos níveis de pressão sonora, que é mais vantajoso que a mensuração *in loco*, pois em primeiro lugar a simulação pode antever cenários futuros, e ainda porque calcular os níveis de ruído é mais prático do que realizar as mensurações em todos os pontos, o que tornaria a realização deste trabalho inviável no espaço de tempo almejado, considerando também que o ano de 2020 é atípico no que diz respeito ao pleno funcionamento das atividades urbanas devido à pandemia de COVID19.

O modelo utilizado para simular os ruídos de trânsito foi o método nacional de cálculo francês NMPB Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), recomendado pela Directiva Europeia para aqueles Estados que não possuem seu próprio método de cálculo do ruído produzido pelo tráfego rodoviário (Leduc et al., 2009, EU, 2003). Justifica-se a utilização deste método por já ter sido utilizado e recomendado por vários trabalhos, além de fazer parte do plug-in *OpenNoise* para a plataforma Qgis, sendo sua distribuição gratuita, o corrobora com o preceito deste trabalho em apresentar ferramentas para a gestão da poluição sonora de baixo custo.

O cruzamento dos níveis de pressão sonora e do índice de fragilidade ambiental permite assim definir áreas onde a poluição sonora é mais impactante e sugerir adequações e ações de mitigação do problema tanto nas fontes de emissão como nos locais impactados de acordo com suas características.

O mapeamento dos níveis de pressão sonora *in loco* é dispendioso e torna a criação dos mapas ou cartas muito caros, desfavorecendo sua utilização pelos gestores urbanos. Outro problema é que a criação dos mapas de ruído normalmente leva em conta tão somente a distribuição da pressão sonora através da interpolação ou simulação dos valores de ruído auferidos em campo. É necessário observar que os níveis de ruído “per se” não podem ser o único critério na elaboração de planos estratégicos de combate à poluição sonora, pois não levam em consideração as fragilidades territoriais ou grupos populacionais que essa poluição afeta diretamente.

Assim o trabalho optou por alcançar seus objetivos utilizando a construção de uma Análise Multicritérios (MCA - na sigla em inglês para *'Multicriteria Analysis'*) para determinar as áreas mais frágeis a poluição sonora conforme os critérios morfológicos investigados (formação de cânions urbanos, presença de vegetação e proximidade de edificações com uso educacional ou de saúde) segundo o processo de integração de variáveis por pesos de evidência, seguido da modelagem da distribuição do ruído proveniente do tráfego veicular - através do modelo NMPB-Routes-96NPB - e posteriormente através do cruzamento das duas informações, através do processo Análise Combinatória para identificação das ocorrências simultâneas de condições e criação de um modelo de impacto territorial (Figura 24).

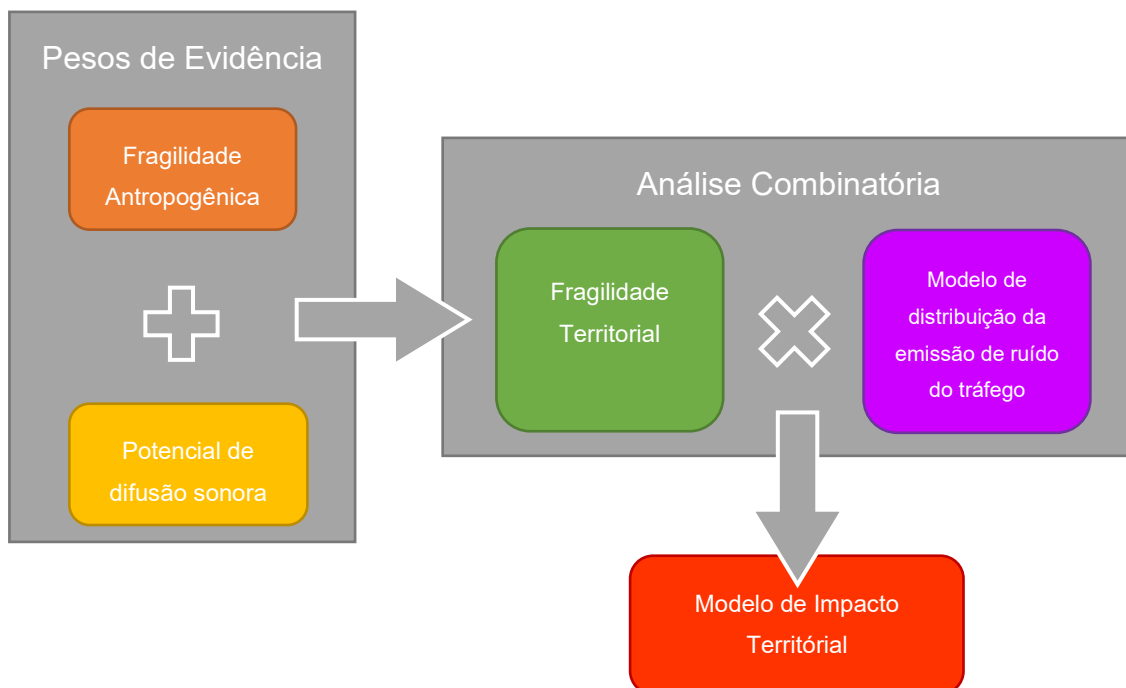


Figura 24 - Esquema de Análises Parciais e Finais. Fonte: o autor.

A Fragilidade Antropogênica foi quantificada a partir da média das notas de três parâmetros: proximidade de unidades de instituição de ensino (faculdades, escolas, creches e afins), proximidade de unidades de saúde (postos de saúde, hospitais e clínicas) e concentração de unidades residenciais (Figura 25).

As variáveis foram integradas por Análise de Multicritérios por Pesos de Evidência, na qual elas são normalizadas para apresentarem os mesmos valores de máximos e mínimos, denominados “notas” de modo que a pior condição ou a melhor condição de todos apresente valores dentro de uma mesma escala. Isto permite a integração, que é baseada em “pesos”. Optou-se por dar peso equivalente a todas as variáveis. O resultado é a média ponderada das condições da Fragilidade Antropogênica, por unidade de análise (no caso unidades na forma de células *raster*) segundo a distribuição espacial de um *ranking* do pior para o melhor (das áreas mais frágeis às menos frágeis).

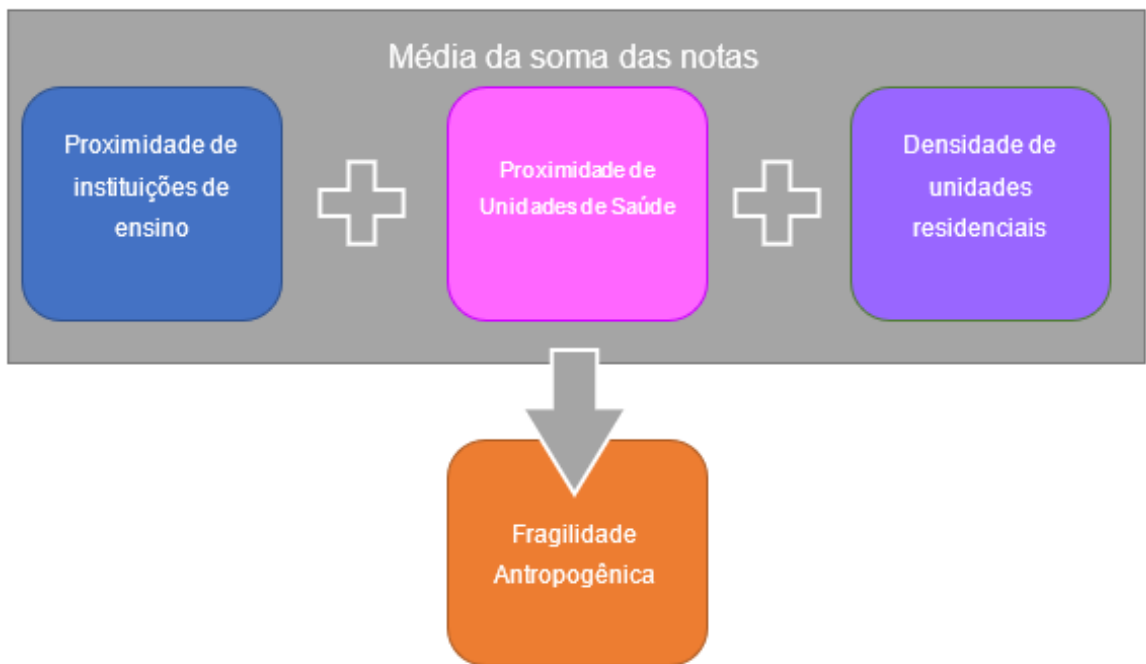


Figura 25 - Esquema de integração de variáveis por Análise de Multicritérios para gerar a avaliação de Fragilidade Antropogênica. Fonte: a autor.

Para o calcular o potencial de difusão sonora, ou seja, as áreas com maior possibilidade em que fenômeno sonoro seja intensificado pela reflexão, refração, difração e reverberação do som foram mapeados e classificados: os cânions urbanos segundo o método de Oke (1988), a presença de vegetação e seu porte através do Índice da Vegetação Normalizada (NDVI) e a geometria das fachadas das edificações quanto a sua forma côncava ou convexa (Figura 26). Tais características foram escolhidas por se mostrarem relevantes e capazes de serem mapeadas de modo expedito por técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, além das referências bibliográficas de suporte à decisão por estas variáveis. Em seguida atribuiu-se uma nota para essas características e calculou-se a média ponderada das notas.

Também neste eixo de investigação as variáveis foram integradas por Análise de Multicritérios por Pesos de Evidência, na qual elas são normalizadas para apresentarem os mesmos valores de máximos e mínimos, denominados “notas” de modo que a pior condição ou a melhor condição de todos apresente valores dentro de uma mesma escala. A Análise aplica a média ponderada segundo os pesos, e aqui também se optou por atribuir pesos iguais às variáveis. O resultado é a distribuição

espacial da poluição sonora, do potencial de distribuição da emissão sonora em função das condições do ambiente, na forma de um ranking da pior à melhor condição.

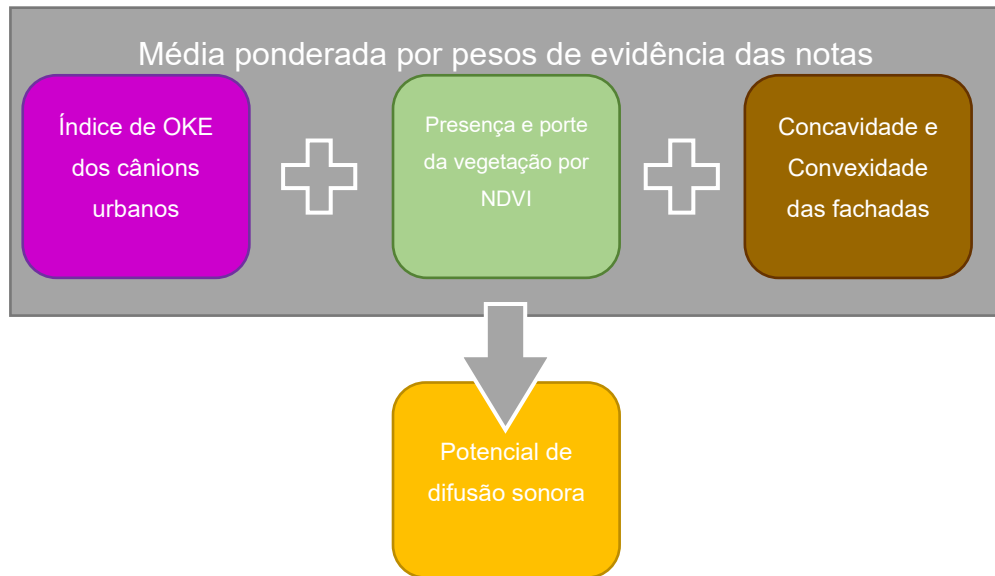


Figura 26 - Esquema de integração de variáveis por Análise de Multicritérios para gerar a avaliação de Potencial de Difusão Sonora. Fonte: a autor.

Capítulo 4 - Desenvolvimento e resultados

Neste capítulo é demonstrado o esquema de integração de variáveis através do método de Análise Multicritérios conforme descrito na metodologia, bem como os procedimentos realizados para gerar as informações nas quais essa análise se baseia, discutindo os resultados parciais ao fim de cada etapa e o mapa síntese resultante das diversas iterações propostas. Ressalta-se que este trabalho não tem como propósito estabelecer um *framework* final, mas caracteriza-se como estudo exploratório que visa abrir espaço para se investigar possibilidades da utilização de ferramentas e métodos de geoprocessamento para a gestão do ruído da forma mais econômica possível a fim de facilitar a aplicação do planejamento da paisagem sonora ainda incipientes ou inexistentes nos projetos de desenvolvimento urbanos nacionais.

4.1 – Índice de Fragilidade Antropogênica

Um dos pilares estabelecidos para avaliação do impacto da poluição sonora neste trabalho é a fragilidade antropogênica do território, que é estimada pela densidade de residências e pela proximidade a equipamentos de uso social prolongado previstos na NBR 10.051/2019 e descritos por Almeida e Chiquito et al. (2018) como indicadores de densificação e de serviços e facilidades mínimos básicos para a vida urbana, quais sejam: unidades de ensino e de saúde.

Na construção do índice foram utilizados os dados provenientes da CEMIG (Projeto Gemini) e da IDE - BHGEO (Infraestrutura de Dados Espaciais de Belo Horizonte). Os dados da CEMIG permitiram separar as ocorrências de residências e modelar suas concentrações, ao passo que os dados disponíveis no portal BH Maps, disponibilizados pela Prodabel (Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte), permitem localizar as unidades de ensino e de saúde a partir delas estabelecer suas áreas de influência.

Os dados da CEMIG são apresentados através da geolocalização de postes distribuidores de energia elétrica aos quais são associados atributos que indicam o uso da energia (residencial, comercial, industrial, serviço público) e o número de domicílios (unidades individuais de consumo) atendidos por ligação, de modo que são indicativos de tipologia de uso e de densidade de consumo. Optou-se pelos dados da CEMIG e não por setores censitários (IBGE, que agrupam bairros ou porções amostrais de recenseamento) por serem os de menor agrupamento espacial disponível, uma vez que não existem dados que apresentem o número de domicílios por lote e por uso. Justifica-se, também, que no caso de replicabilidade do processo em outros municípios de Minas Gerais, o tem sido denominado “escalabilidade” de processo, e por esta ser a menor unidade territorial de integração existente, uma vez que é raro a existência de dados por edificação e que os setores censitários são de baixa resolução. A disponibilidade dos dados de postes se deve ao envolvimento do Laboratório de Geoprocessamento da EA-UFMG no projeto do “Plano Diretor Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte” (PDDI) (Moura e Magalhães, 2011; Moura, Parizzi e Magalhães, 2011).

Conforme descrito na metodologia deste trabalho, o desenvolvimento da pesquisa passou pelo mapeamento das variáveis de fragilidade antropogênica: presença de instituições de ensino, presença de unidades de saúde e concentração de unidades residenciais. Essas características foram espacializadas segundo suas áreas de influência (serviços e facilidades) ou de concentração (aglomeração de moradias) e depois classificadas de forma numérica conforme o método proposto por Moura, 2007 quanto ao grau seu de pertinência recebendo notas de 1 a 5 (maior proximidade ou maior concentração com valor maior, e vice-versa).

Para as duas primeiras variáveis – instituições de ensino e unidades e saúde - foram criados buffers de proximidade a partir dos pontos de localização das unidades obtidos no BHMaps, que a Infraestrutura de Dado Espaciais do Município de Belo Horizonte, através da a fim de indicar o grau de vulnerabilidade com notas de 5 a 1 obedecendo a lei do inverso do quadrado da distância para o decaimento do impacto sonoro o conforme a Tabela 1 abaixo e nos mapas a seguir (Figura 27 e Figura 28):

Tabela 1 - Atribuição de notas aos componentes de legenda da variável proximidade a escolas e a unidade de saúde,

Distância do Buffer	Grau de vulnerabilidade	Nota
25 m	Alto	5
50 m	Médio Alto	4
100 m	Médio	3
200 m	Médio Baixo	2
400 m	Baixo	1

Área de Influência das Unidades de Saúde

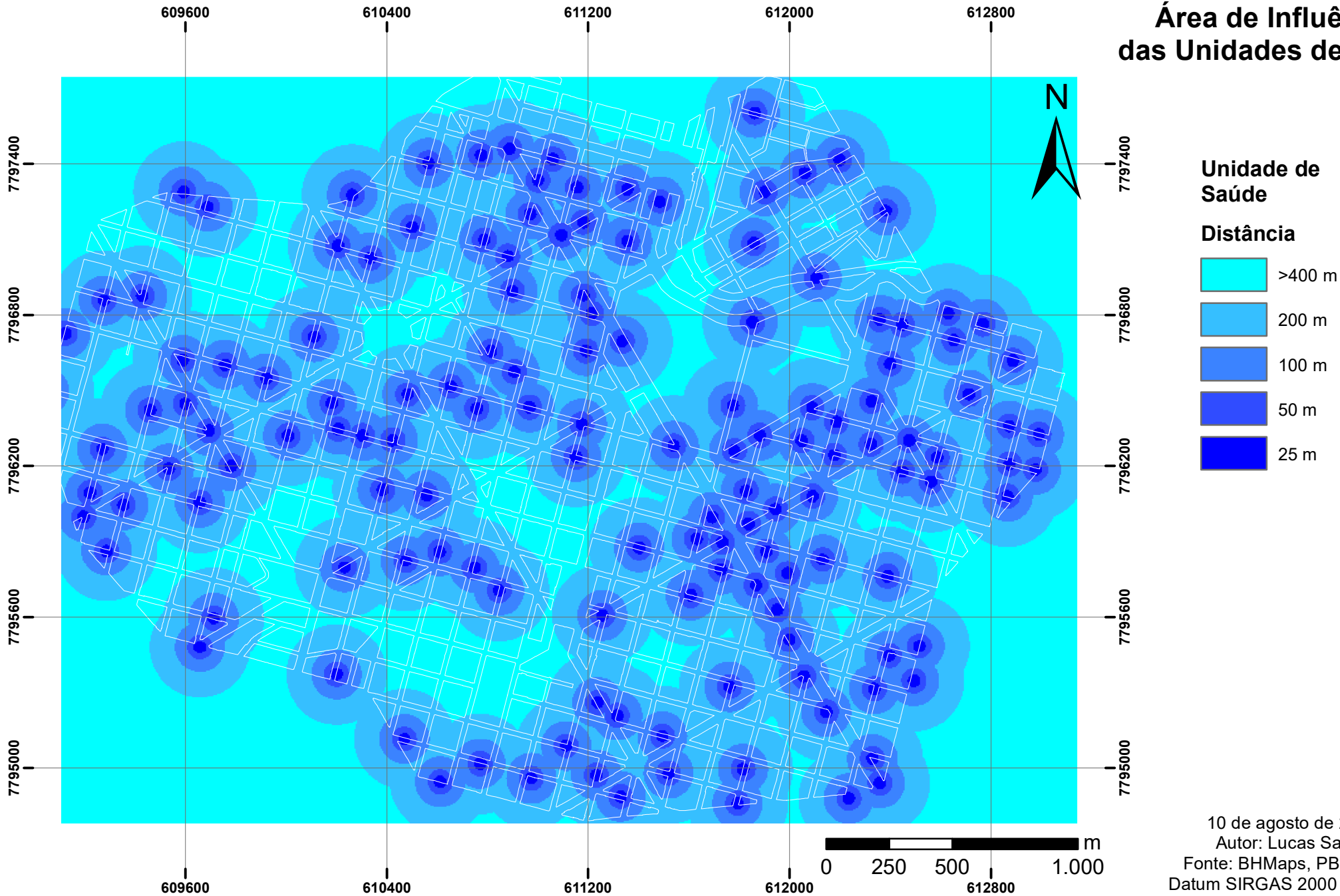
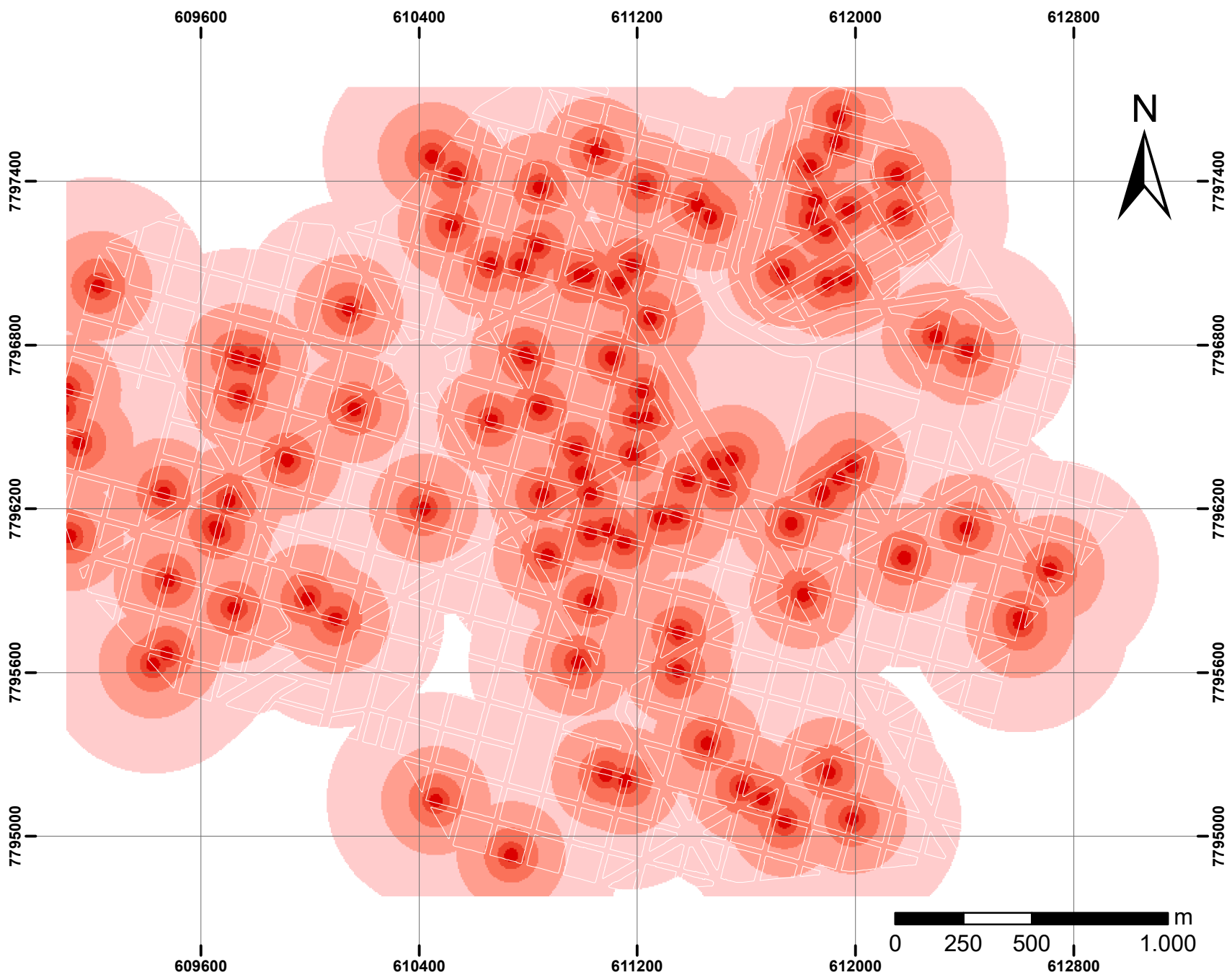


Figura 27 - Área de Influência das Unidades de Saúde Fonte: a autor, a partir de dados da PBH

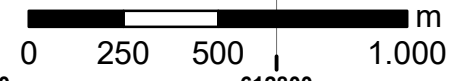
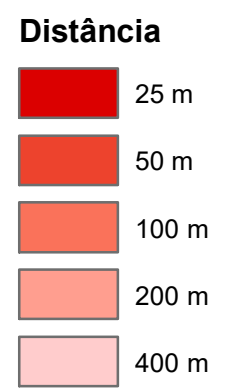
10 de agosto de 2020
Autor: Lucas Saliba
Fonte: BHMmaps, PBH, 2020
Datum SIRGAS 2000 UTM 23S



Área de Influência das Unidades de Educação



Unidades de Educação



10 de agosto de 2020
 Autor: Lucas Saliba
 Fonte: BHMmaps, PBH, 2020
 Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 28 - Área de Influência das Escolas. Fonte: a autor, a partir de dados da PBH

O terceiro item que compõe o índice de Fragilidade Antropogênica é a concentração de residências, calculada a partir da Densidade de Kernel, técnica de interpolação espacial que fornece estimativas de maior concentração de um dado baseado no número de ocorrências, o que permitiu a identificação de regiões de maior agregação do número de residências conectadas aos postes da rede de distribuição de energia elétrica provenientes da Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG – uma vez que este era o dado mais acurado disponível para identificação da concentração de residências no nível dos logradouros. Este dado foi dividido em 5 classes utilizando-se o método das quebras naturais (Jenks), que receberam as respectivas notas de 1 a 5, da menor para a maior concentração (Figura 29).

Concentração Residencial por Densidade de Kernel

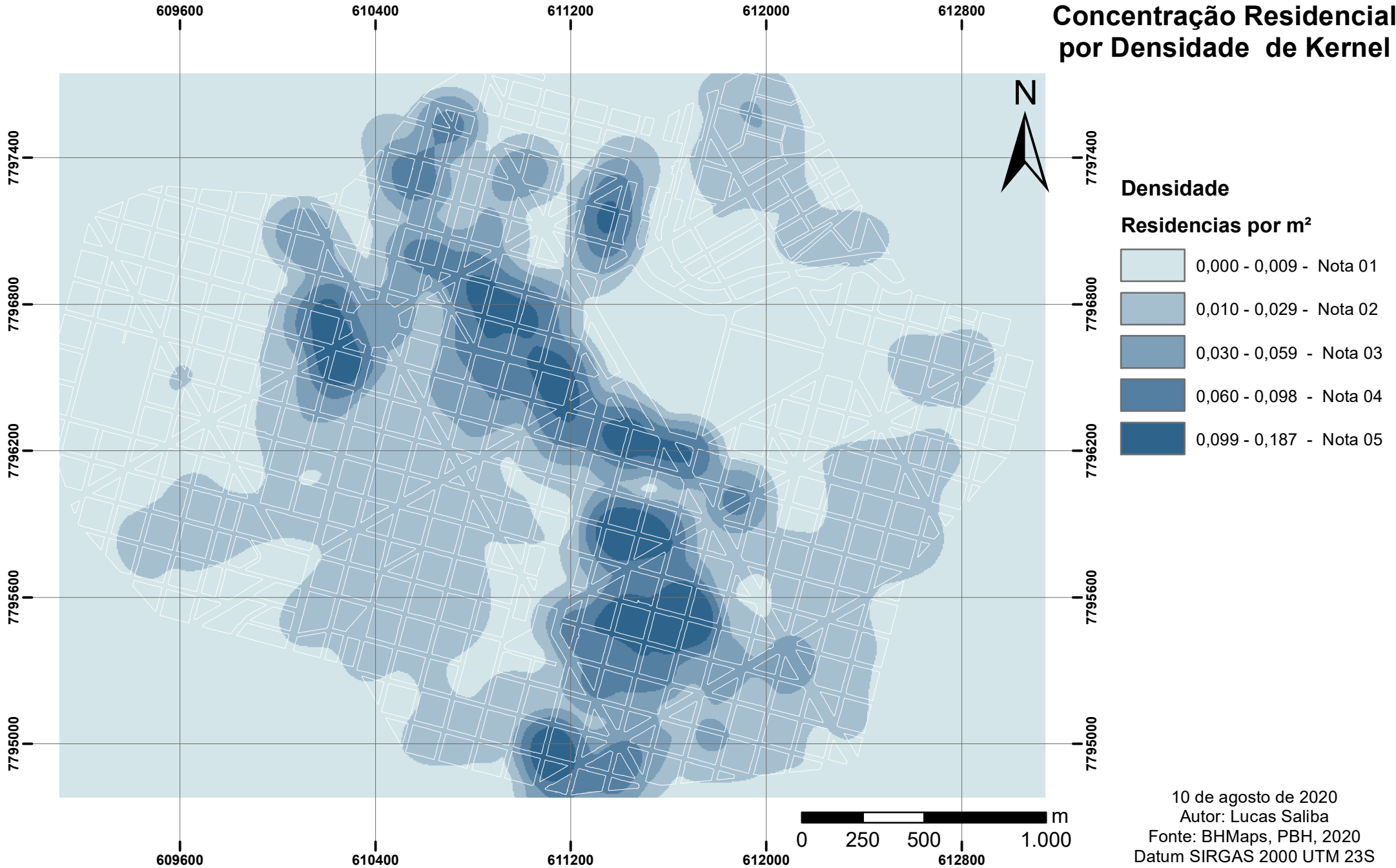
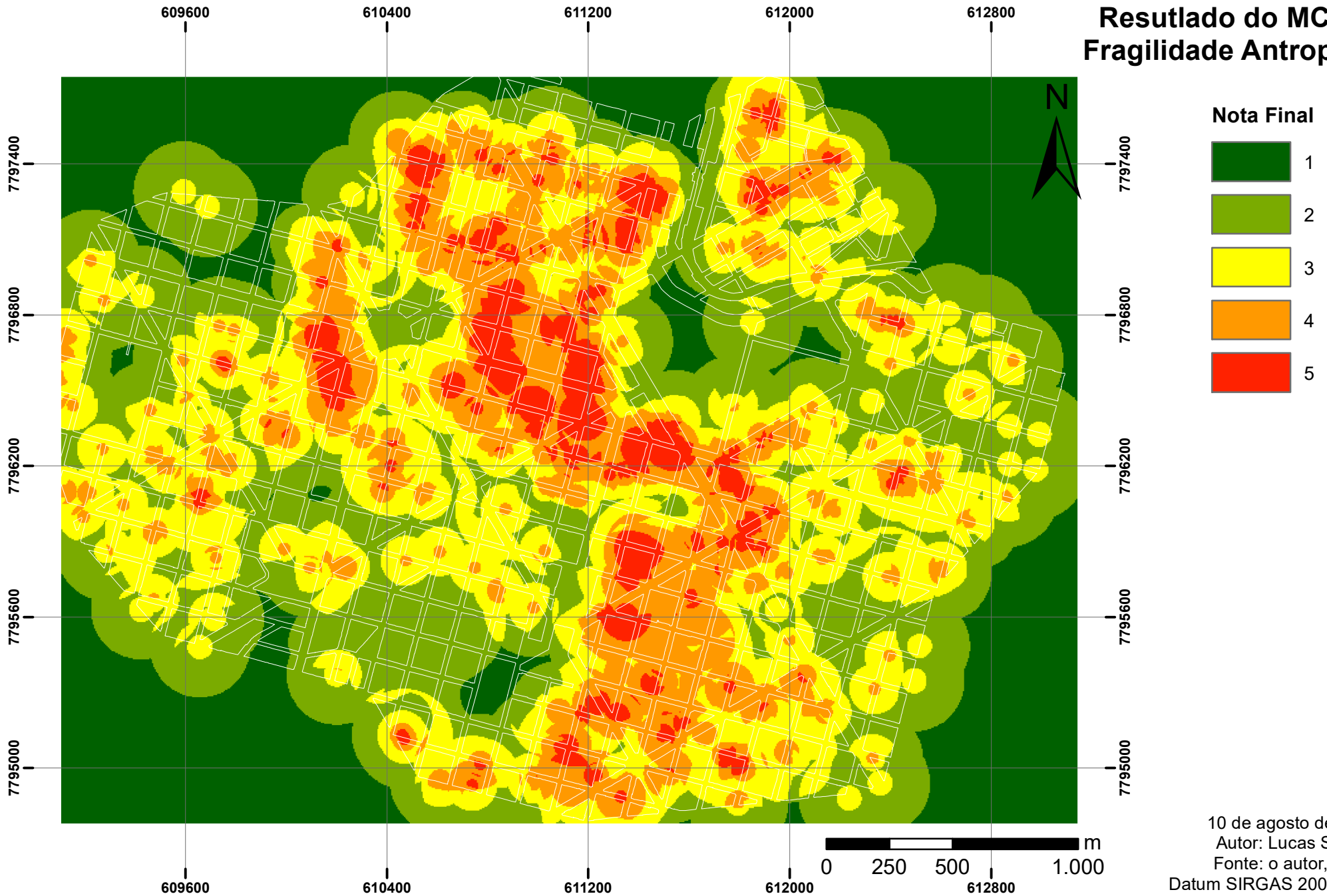


Figura 29 - Concentração de residências. Fonte: o autor, a partir de dados da Cemig

Os três mapas foram convertidos para o formato *raster* com resolução espacial de 5 m e combinados através da álgebra de mapas por média aritmética, ou seja, cada mapa teve peso de 1/3 na composição do índice final de Fragilidade Antropogênica do Território ao impacto sonoro (Figura 30).

Resultado do MCA para Fragilidade Antropogênica



10 de agosto de 2020
Autor: Lucas Saliba
Fonte: o autor, 2020
Datum SIRGAS 2000 UTM 23S

Figura 30 - Distribuição da Fragilidade Antropogênica. Fonte: a autor

4.2 – Potencial de Distribuição da Emissão

Na sequência foram mapeadas as variáveis morfológicas: Cânions Urbanos, Vegetação e Convexidade das Fachadas. Para a primeira utilizou-se o índice de Oke (1988) para classificar o grau de pertinência dos cânions dado pela relação altura (H) dividida pela largura (L) da via lindeira as edificações. Para determinação da altura H do cânion foi comparada à altura das edificações uma em frente a outra, e adotado o valor da edificação mais baixa como valor H para profundidade do cânion. O modelo utilizado para realizar a comparação da altura das edificações foi a criação de um TIN (*Triangulated Irregular Network*) que tomou como base a projeção das edificações e o valor da cota de topo a elas atribuído. O valor da cota mais baixa foi então transferido para o centroide das linhas perpendiculares as edificações (Figura 31).

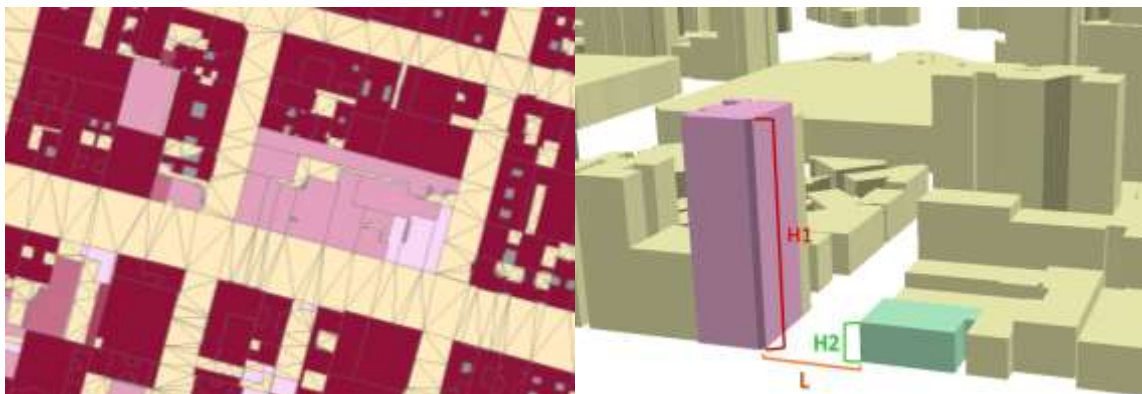


Figura 31 - Esquema de mensuração de distâncias frontais entre edificações por triangulação e de medidas das alturas das edificações. Fonte: a autor.

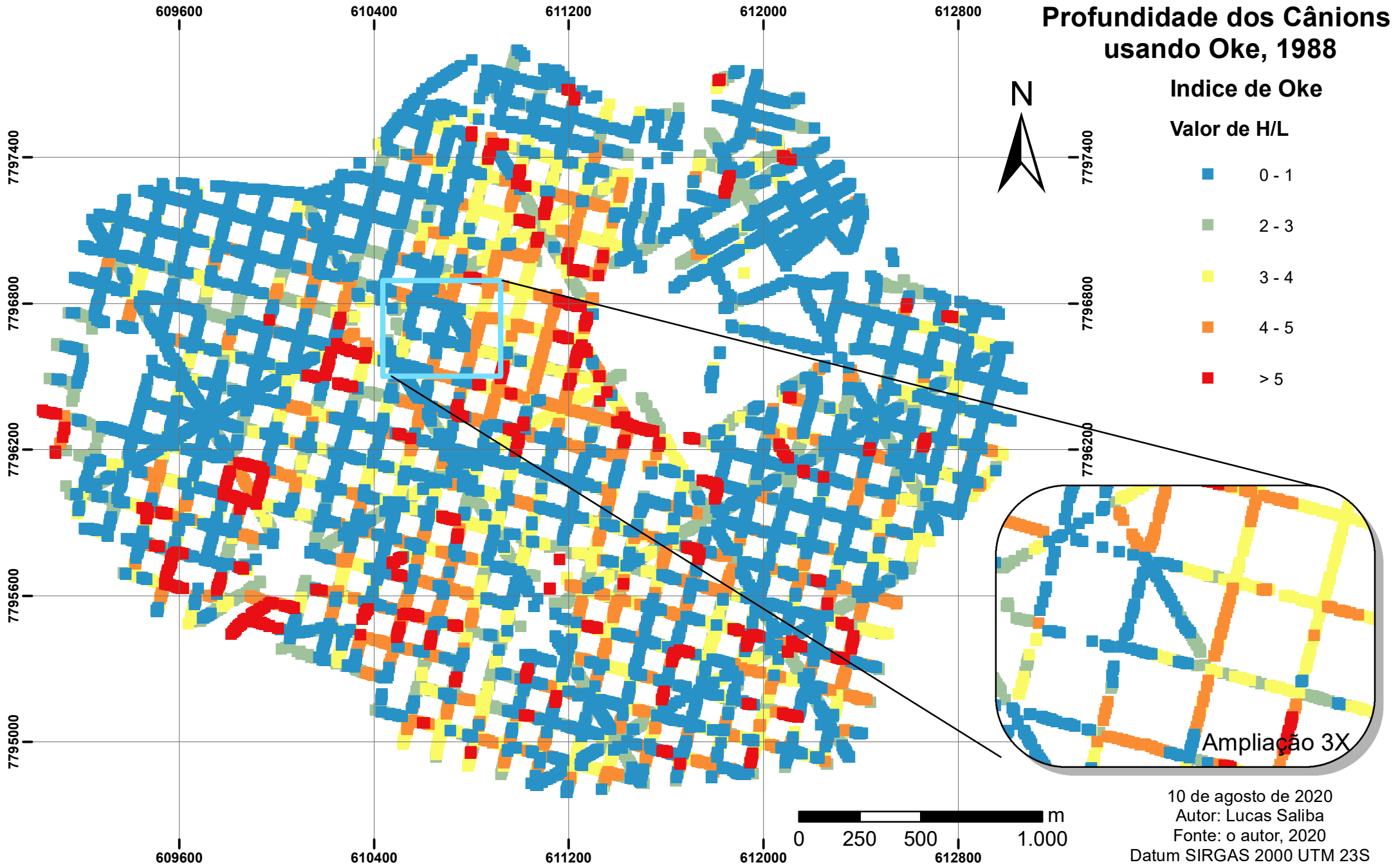


Figura 32 -Distribuição do Índice de Oke, relacionado a cânions urbanos Fonte: a autor.

O NDVI se baseia na assinatura espectral do comportamento dos alvos, que apresentam respostas específicas relacionadas à fotossíntese, cujo processo absorve a radiação solar na região do vermelho. As células das plantas refletem fortemente na região do infravermelho próximo (NIR), sendo que as porções absorvidas no vermelho e refletidas no infravermelho variam de acordo com as condições das plantas (Figura 33).

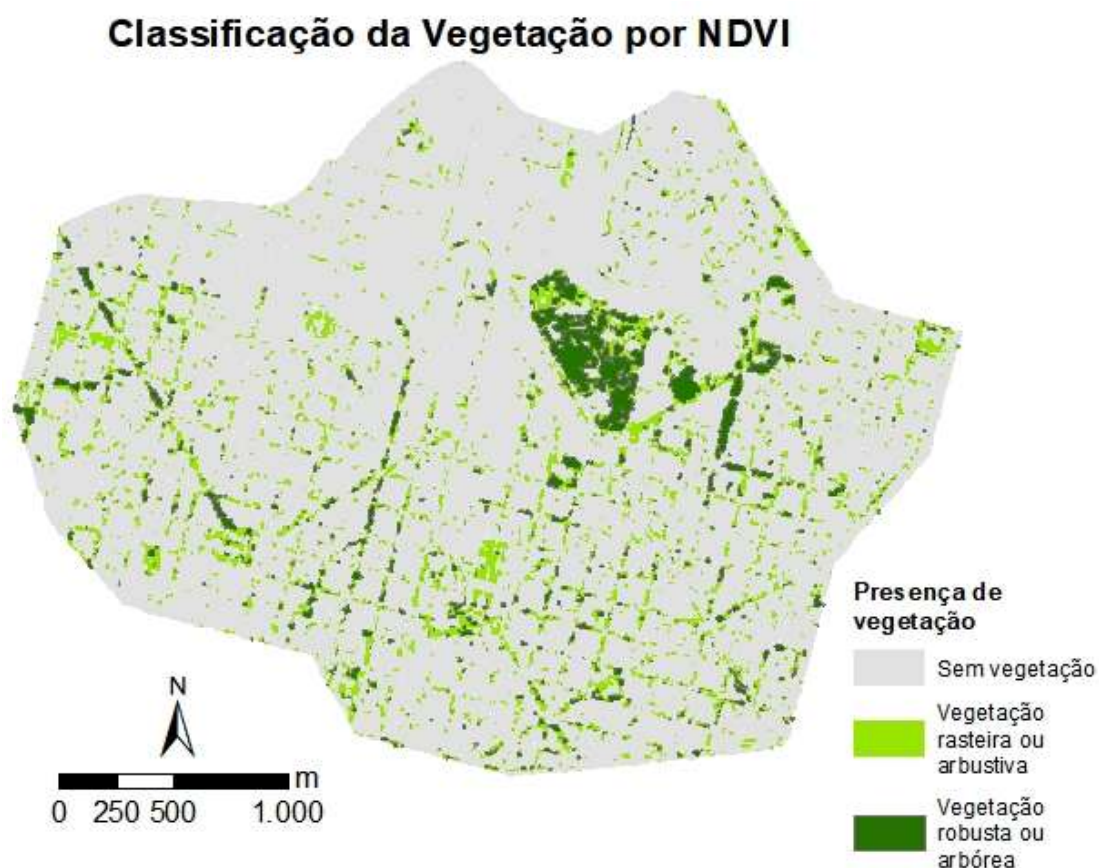


Figura 33 - – Distribuição da Cobertura Vegetal, por NDVI. Fonte: a autor, a partir de imagens de satélite Rapid-Eye..

O terceiro item que compõe a análise do potencial de difusão sonora é a convexidade das fachadas, uma vez que essa característica pode contribuir para reverberação das ondas sonoras potencializando o impacto das fontes. Para tanto foi utilizada a ferramenta de análise geométrica do ArcGis® denominada “Envoltória geométrica mínima” para criação de uma envoltória convexa as edificações de uma quadra. Em seguida utilizando a ferramenta de seleção espacial, foram identificadas as fachadas que compartilhavam segmentos de coincidentes com a linha exterior mais convexa das quadras, enquanto as que estivessem internas a mais de 30cm da

mesma linha foram classificadas como geometrias côncavas e, portanto, mais propensas a propagação do som ou mesmo intensifica-lo. A partir dessa seleção as fachadas receberam a nota 5 se fossem classificadas como côncavas e 3 para as demais (Figura 33, Figura 34).

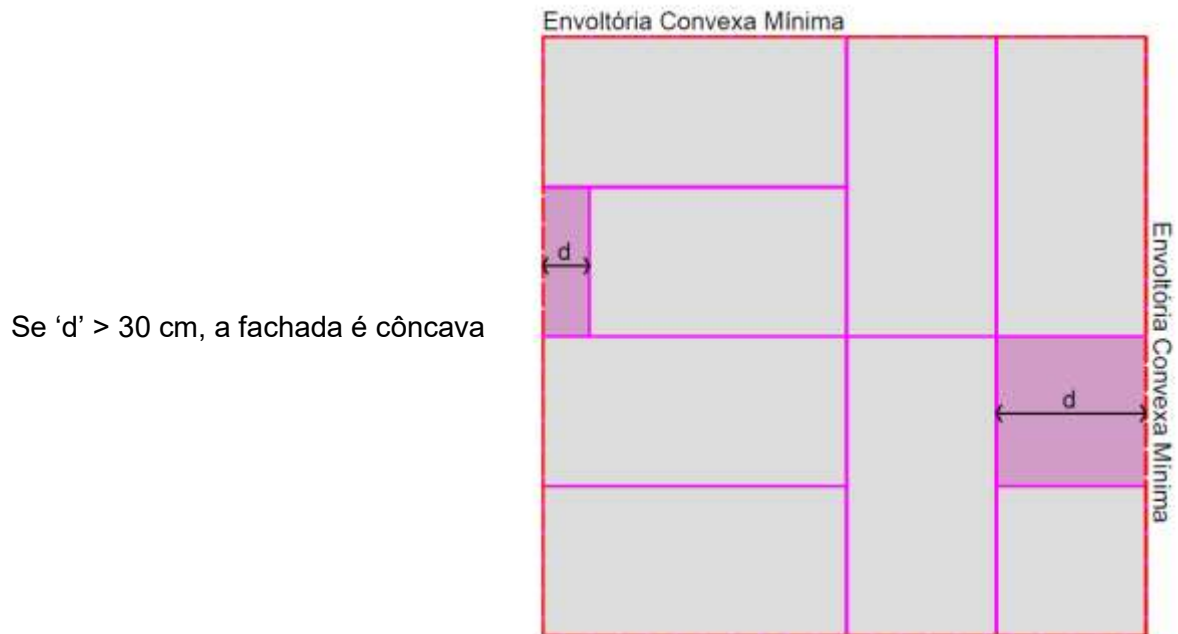


Figura 34 - Croqui de explicação do cálculo das formas côncavas e convexas. Fonte: a autor

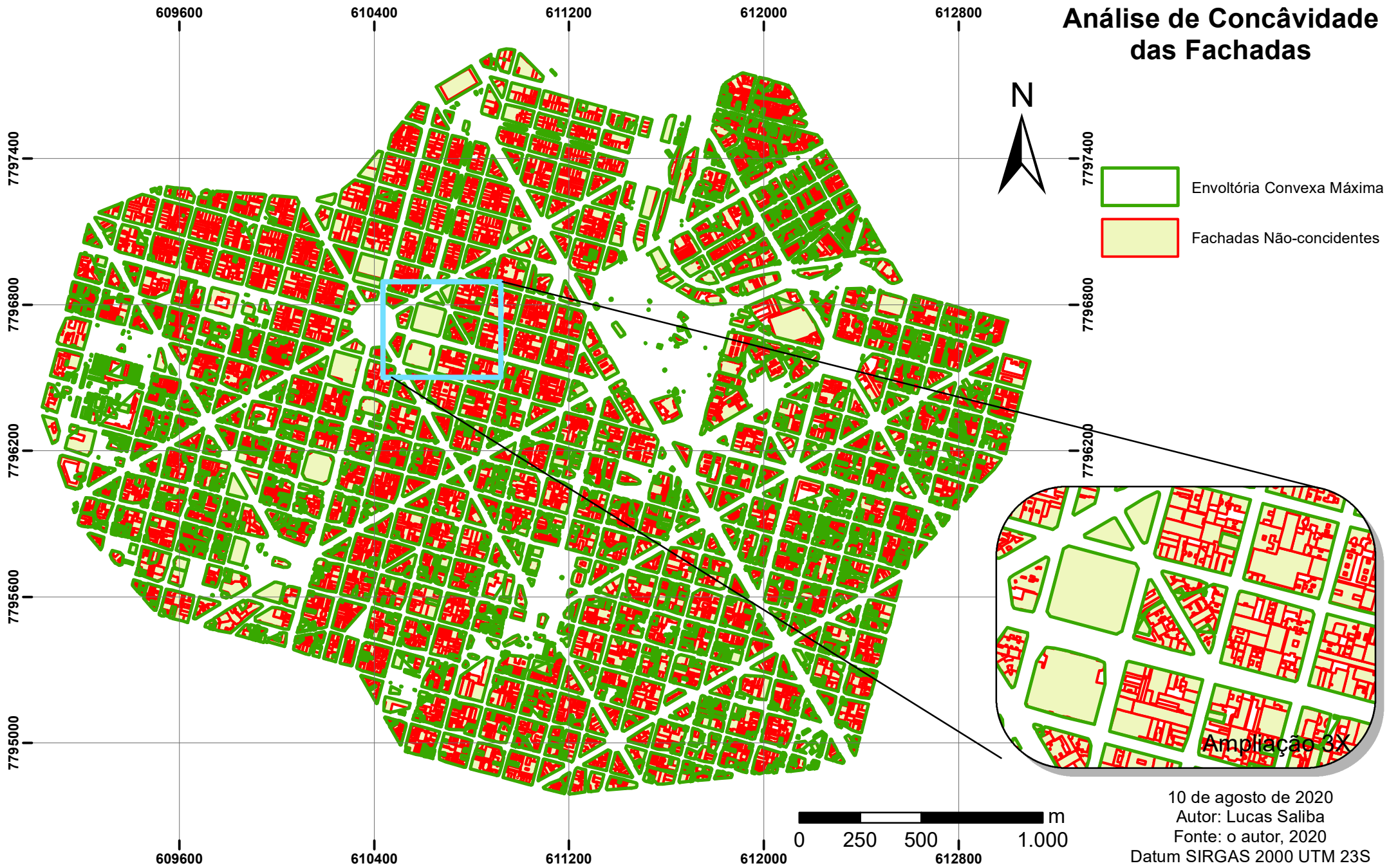


Figura 35 – Classificação das fachadas de geometria convexa, Fonte: a autor

A intensidade de cada característica morfológica foi associada como atributo às testadas dos lotes, uma vez que essa unidade territorial se adequa à escala do estudo e permite que os atributos da classificação do potencial de distribuição da emissão, entendido como Potencial de Difusão Sonora, pudesse ser extraído do formato raster para integrar a etapa posterior de análise combinatória.

A classificação final do Potencial de Difusão foi calculada por média ponderada por pesos de evidência. O índice de Oke (1988) recebeu ponderação de 50% da nota final, a concavidade das fachadas 30% e a presença de vegetação 20% compondo a nota final que foi reclassificada conforme a tabela a seguir e representada no mapa a seguir (Tabela 2 e Figura 35). Decidiu-se por não atribuir pesos iguais para as variáveis em função da expressividade de cada variável: entende-se que a formação de cânions urbanos tem mais amplo poder de reverberação do som e de difusão do impacto sonoro; seguido da forma das fachadas que conformam as concavidades que têm poder de retenção do som e, contrariamente, a convexidade amplia a difusão; e finalmente a vegetação recebe menos peso em função de sua ação ser limitada a apenas nos primeiros metros das fachadas das edificações, em função das alturas das árvores.

Tabela 2 – Fatiamento do resultado do mapa de Potencial de Difusão do Impacto Sonoro,

Nota da Média ponderada	Grau de vulnerabilidade
0 a 1,000	Baixo
1,001 a 2,000	Médio Baixo
2,0001 a 3,000	Médio
3,001 a 4,000	Médio Alto
4,001 a 5,000	Alto



Figura 36 - Potencial da Difusão Sonora, Fonte: a autor

4.3 – Grau de Fragilidade Territorial

O Potencial de Difusão Sonora foi cruzado com a Fragilidade Antropogênica a fim de criar o índice de Fragilidade Territorial. Enquanto nas etapas de análises parciais foi aplicada a Análise de Multicritérios por Pesos de Evidência, pois o objetivo era produzir um ranking, uma escala hierárquica das piores para as melhores áreas (das mais frágeis para as menos frágeis em termos de difusão da ação do som e de concentração de fragilidades para as pessoas), na combinação entre as duas análises parciais é adotada a Análise de Multicritérios por Análise Combinatória. Isto porque interessa agora saber o arranjo das condições existentes, diferenciando as combinações de características do Potencial de Difusão & Fragilidade Antropogênica (Figura 37).

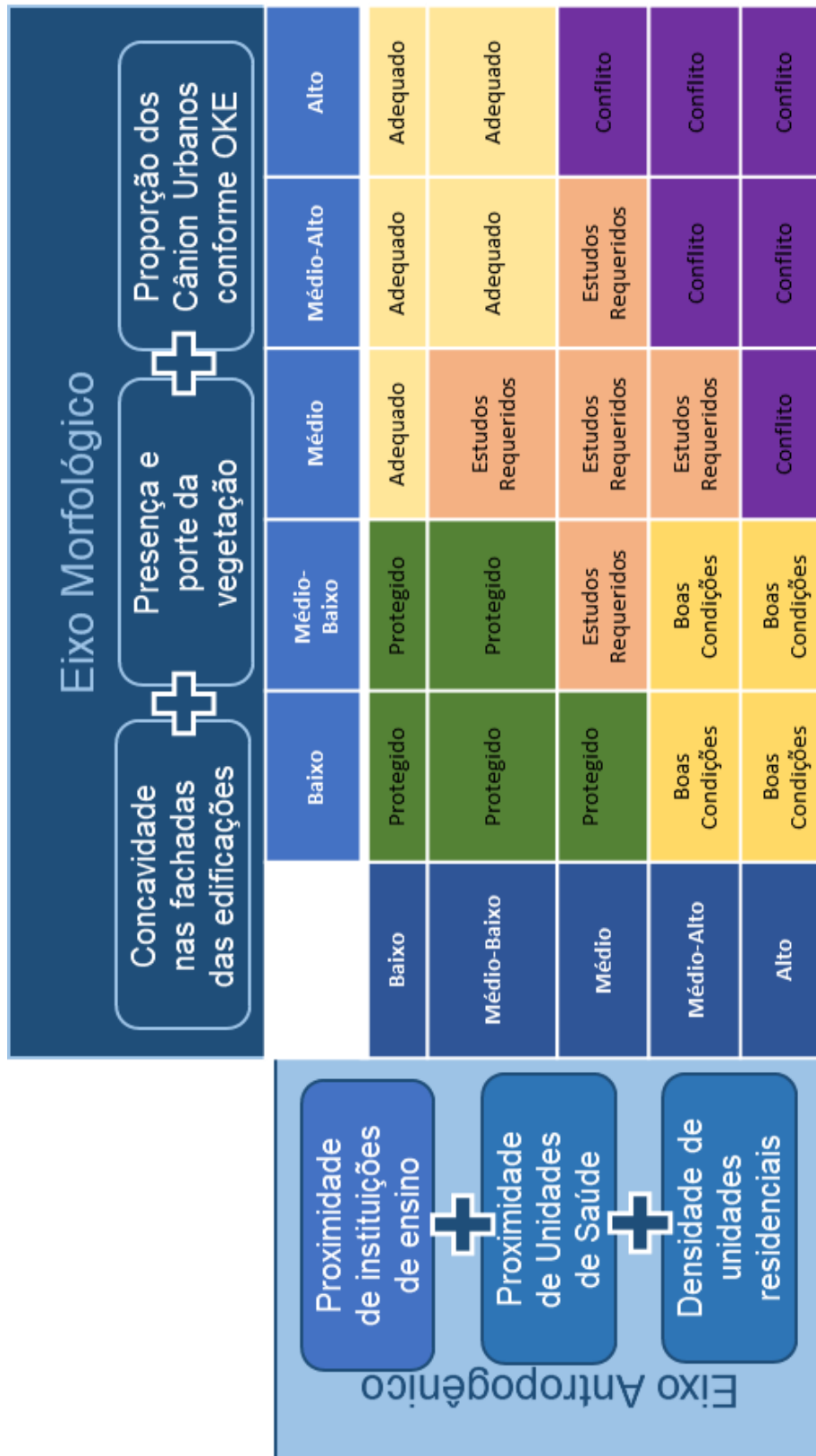


Figura 37 Esquema de Análise Combinatória: Potencial da Difusão & Fragilidade Antropogênica. Fonte: a autor.

Legenda das Combinações, na forma de julgamentos e decisões sobre as ocorrências das diferentes condições:

C – Conflito – prioridade para mitigação

(limitação de alvará de uso e indicação de revisão de parâmetros e morfometria)

B – Boas condições que devem ter morfometria observada para manter

A – Adequado - Atenção para não concentração residencial e usos especiais

E – Estudos requeridos para definição da vocação, zona de transição

P – Protegida – sem necessidade de ação

4.4 – Modelo de emissão de ruído de tráfego

Para a terceira etapa da análise multicritérios foi necessário simular os níveis de ruído no tecido urbano, o que se obteve pela simulação do ruído de tráfego por esse já contar com modelos reconhecidos estudados de modelagem de dados espaciais, tal como o NMPB Routes-96 (Road Traffic Noise: the French national computation method, EU, 2003), que consiste em duas etapas: a estimativa da níveis de emissão do ruído do tráfego sobre o sistema viário e o cálculo dos níveis sonoros sobre os pontos receptores auferido a partir da propagação dessas fontes. Além disso o método faz parte do *plugin* OpenNoise desenvolvido para plataforma *OpenSource* Qgis.

É preciso levar em consideração que as aproximações dos cálculos de propagação realizados pelo *plugin* dizem respeito à modelagem 2D em vez de 3D, o que implica estabelecer que as fontes sonoras estão próximas ao solo, ou seja, no mesmo plano horizontal que receptores. Assim, os ruídos refletidos e difratados permanecem no mesmo plano paralelo para o chão, de forma que a difração horizontal ocasionada pelas arestas verticais dos edifícios é levada em consideração (ou seja, os raios sonoros se propagam ao redor dos edifícios), enquanto a difração vertical

provoca pelas arestas horizontais são ignoradas (ou seja, não é levado em conta que os raios sonoros poderiam se propagar sobre os edifícios). Entretanto, o impacto desta última simplificação na previsão é relativamente pequeno em ambientes com várias fontes ambientes como as áreas urbana onde os componentes diretos e refletidos do campo sonoro predominam amplamente sobre os componentes difratados (Bocher, 2019)

A primeira etapa na para a simulação dos níveis de ruído através do *plugin* é a inserção das camadas de informação “Buildings” referente as edificações para a qual ele estabelecerá os pontos receptores, ou seja, os pontos para os quais os níveis de ruído simulados serão calculados com base na fonte emissora. Para este estudo foi utilizada o método de criação de pontos para a metade das fachadas, ou ainda, o centroide das arestas que compõe projeção ortogonal das edificações (Figura 37). É importante notar que por esse método as fachadas curvas acabam por receber um número maior de pontos, pois são constituídas por vários segmentos de reta.



Figura 38 - Uso do plugin *OpenNoise* - identificação dos pontos para mensuração. Fonte: a autor.

A segunda etapa do processo de simulação é o cálculo dos níveis de ruído. Para tanto inserem-se os pontos receptores, determinados na etapa anterior, de modo que as edificações que serão consideradas como barreiras, razão pela qual devem ser incluídos na mesma shape elementos que funcionem como barreiras sonoras. Também nesse passo é necessário informar quais são as fontes de ruído que serão simulados, essas podem ser fontes pontuais previamente mensuradas e/ou os dados morfológicos e de carregamento de tráfego viário, detalhados em seguida (Figura 38).

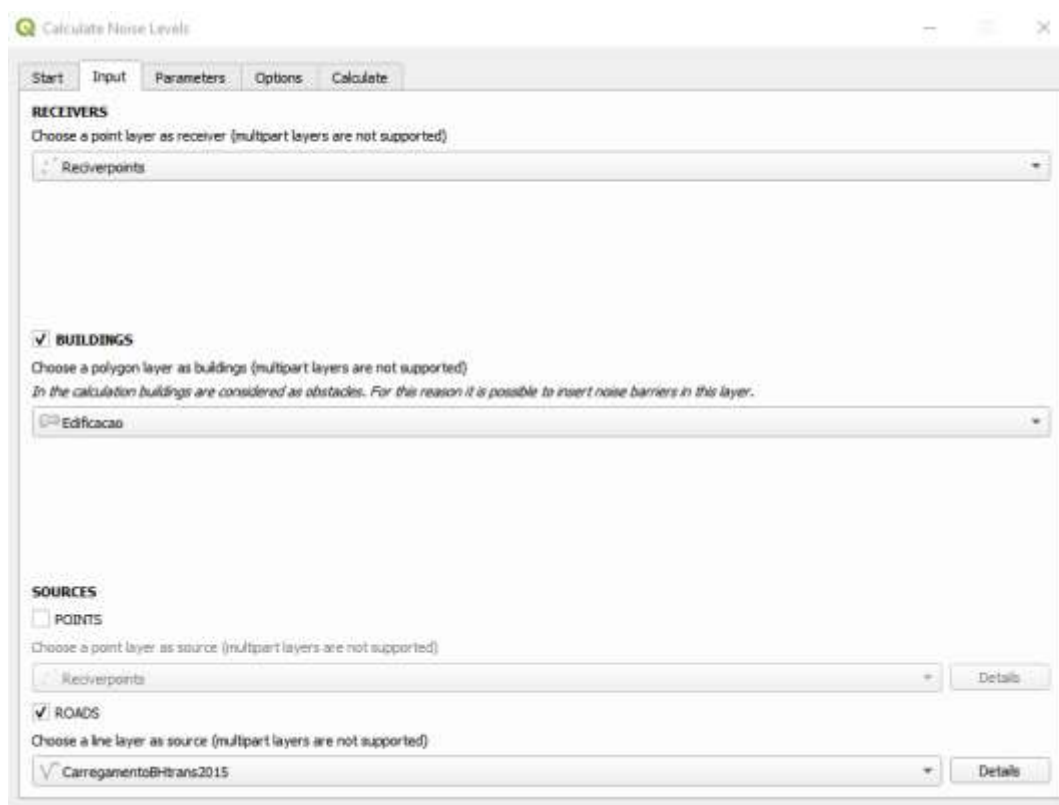


Figura 39 - Uso do plugin *OpenNoise* - informação das barreiras. Fonte: a autor

O passo seguinte é informar ao *plugin* as variáveis a serem consideradas no cálculo do ruído, quais sejam:

- O tipo de veículo *Light* (veículos leves com menos de 3,5 t), *Heavy* (veículos pesados com 3,5 t ou mais), bem como o número e a velocidades dos veículos para cada tipo;
- O *Traffic Type* ou tipo de tráfego no trecho (Acelerado, Desacelerado, Contínuo ou Não Diferenciado) sendo que para as vias urbanas o tipo especificado é o Não Diferenciado.

- *Road slope*, onde deve se definir a se a via está em aclive, declive indicando seu percentual, ou se é plana. Os dados para as vias de Belo Horizonte, apesar de indicarem a declividades média dos trechos, não indicam a direção da mesma de forma que se optou por considerar todos trechos planos como forma de simplificação.
- *Road Surface* ou superfície da via, que indica o tipo de pavimento do trecho a partir do qual é atribuída nível de correção para o ruído emitido, para as superfícies asfálticas planas – caso de quase todas as vias pesquisadas – esse valor é 0. Para alguns trechos pavimentados pedras essa correção é de +3dB.

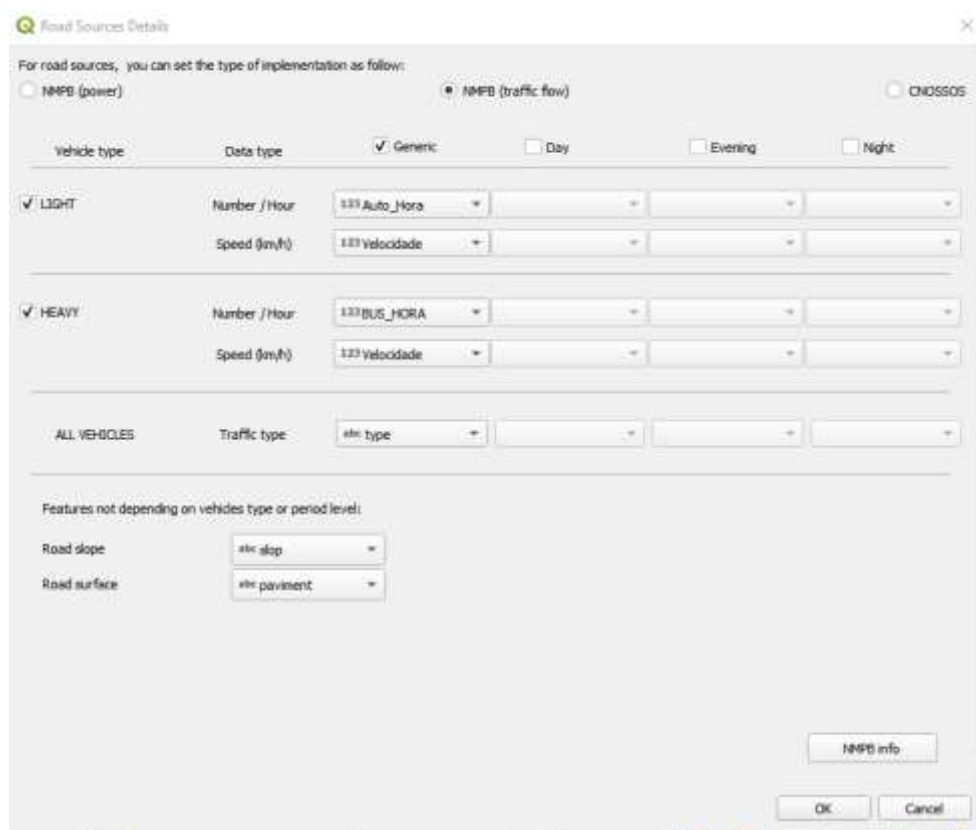


Figura 40 - Uso do plugin *OpenNoise* - informação das fontes de ruído. Fonte: a autor.

O processamento do modelo resultou no mapa com os níveis sonoros simulados (Figura 41). Observa-se a alta concentração dos entornos das Praças Sete de Setembro e Raul Soares, significativo impacto em toda a região das proximidades da Av. Santos Dumont, há uma transição de crescimento de impacto rumo ao sul da

região coincidindo com a Savassi, mas há ainda áreas internas às grandes avenidas que são bastante protegidas.

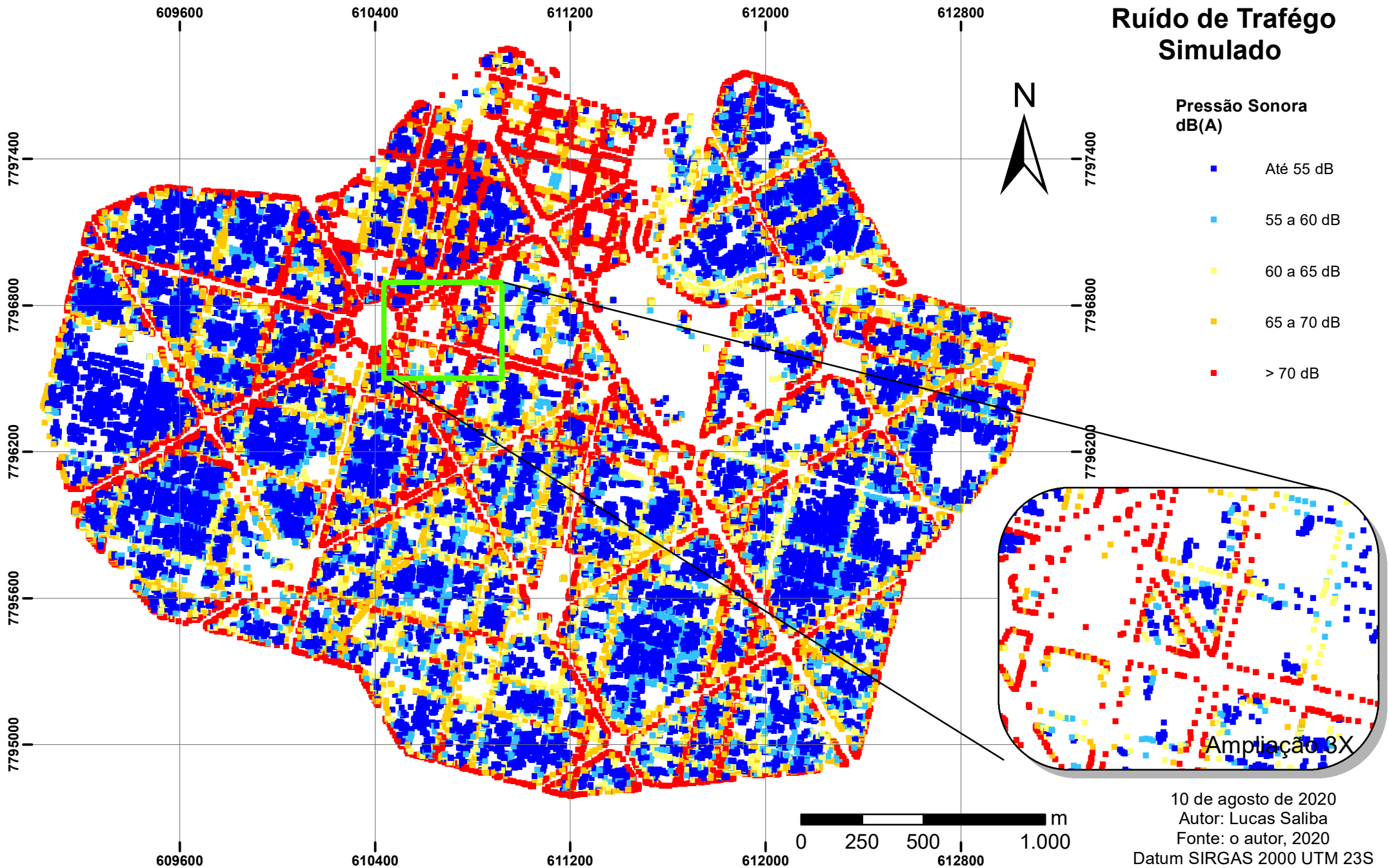


Figura 41 - Ruído de Tráfego Simulado, com o uso do plugin OpenNoise. Fonte: a autor.

4.5 - Avaliação do impacto territorial

A partir dos dados obtidos com a simulação dos ruídos de tráfego elaborou-se uma nova matriz para realização de uma segunda rodada de análise combinatória. O objetivo foi identificar todas as possíveis combinações de ocorrências de Fragilidade Territorial e de Distribuição da Emissão do som, e, principalmente, já atuar de forma propositiva indicando o que fazer diante de cada situação. Desta forma, a matriz se constitui como uma proposição para o planejamento estratégico das cidades, pois não se limita a interpretar e analisar condições existentes, mas dá um passo a mais orientando sobre providências que o poder público deve tomar nos Planos Diretores e Leis de Uso e Ocupação do Solo, ou eventualmente em ações de intervenção ou em normativas específicas que visem enfrentar os problemas da poluição sonora ou proteger as potencialidades da paisagem sonora (Figura 42).

Desta forma, a Matriz de Combinação de Fragilidade Territorial & Distribuição da Emissão Sonora é produto da metodologia proposta na presente Dissertação como contribuição ao planejamento urbano, avançando para a etapa de soluções e proposições. São relacionadas 10 tipologias de ações a serem adotadas, quais sejam: (1) Ação imediata de intervenção; (2) Reeducação, revisão código de posturas, rever o uso; (3) Limitação de alvarás e evitar atividades noturnas; (4) Morfometria observada em parâmetros urbanísticos; (5) Estudos requeridos, pois há potencial de transformação; (6) Bloquear uso residencial e especiais (saúde e ensino); (7) Evitar uso residencial e especiais (saúde e ensino); (8) Não prioritário ou condições a serem protegidas; (9) Aceitáveis atividades de médio a alto impacto sonoro; (10) Aceitáveis atividades de médio impacto sonoro. Representadas no mapa da Figura 43.

		FRAGILIDADE TERRITORIAL					
		C	B	A	E	P	
DISTRIBUIÇÃO DA EMISSÃO	A	acima de 70	[Purple]	[Purple]	[Brown]	[Pink]	[Dark Blue]
	MA	65 a 70	[Purple]	[Pink]	[Brown]	[Pink]	[Dark Blue]
	M	60 a 65	[Pink]	[Pink]	[Brown]	[Light Green]	[Light Blue]
	MB	55 a 60	[Light Pink]	[Light Orange]	[Brown]	[Light Green]	[Light Blue]
	B	abaixo 55	[Light Pink]	[Light Orange]	[Light Green]	[Light Green]	[Light Green]

- [Purple] Ação imediata de intervenção
- [Pink] Reeducação, revisão código de posturas, rever o uso
- [Light Pink] Limitação de alvarás e evitar atividades noturnas
- [Light Orange] Morfometria observada em parâmetros urbanísticos
- [Light Green] Estudos requeridos, pois há potencial de transformação
- [Brown] Bloquear uso residencial e especiais (saúde e ensino)
- [Yellow-Orange] Evitar uso residencial e especiais (saúde e ensino)
- [Light Green] Não prioritário ou condições a serem protegidas
- [Dark Blue] Aceitáveis atividades de impacto sonoro
- [Light Blue] Aceitáveis atividades de médio impacto sonoro

Figura 42 - Matriz de combinação Fragilidade Territorial & Distribuição da Emissão do Som – Suporte à Decisão.
Fonte: a autor.

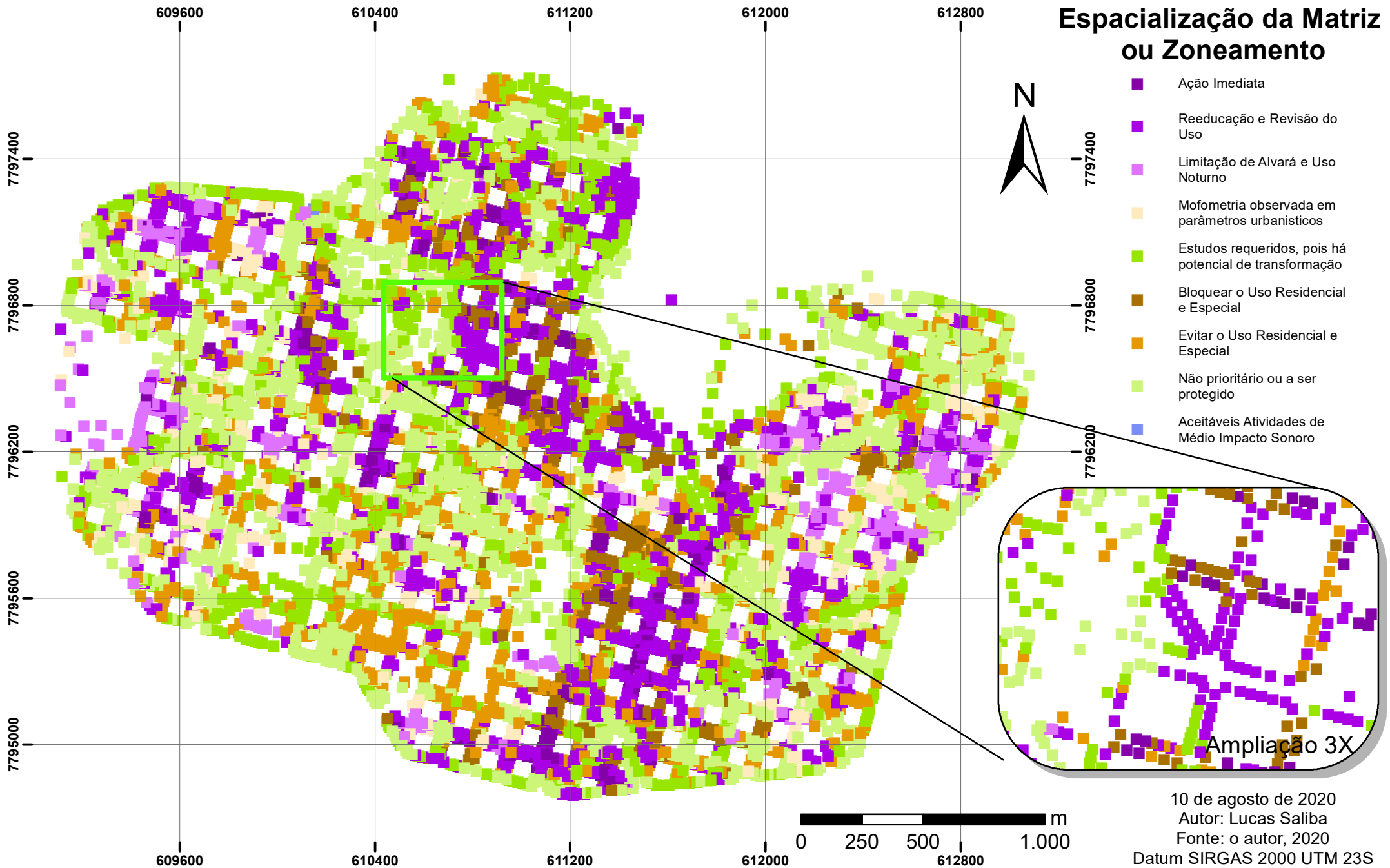


Figura 43 - Mapa do Zoneamento Acústico. Fonte: o autor

Capítulo 5 - Discussão e Conclusão

O ambiente é urbano foi estabelecido pelo ser humano naturalmente para abrigá-lo, mas com o desenvolvimento das cidades e sua conversão em metrópoles e megalópoles, esse mesmo ambiente tem acumulado características prejudiciais ao bem estar dos cidadãos. Esse fenômeno vem sendo constatado em larga escala, de modo que cabem intervenções e planejamento para que essas características prejudiciais, porém inerentes à própria existência da urbe, sejam mitigados da melhor forma possível.

A poluição sonora, na maior parte das vezes, só é notada quando ocorre de modo concentrado e exagerado, como no exemplo da passagem de uma motocicleta barulhenta, explosão de fogos de artifício ou da realização de grandes eventos musicais. Todavia, o impacto mais danoso talvez não seja o esporádico, mas sim aquele ocasionado cotidianamente pelo volume de tráfego nas vias urbanas e ao qual ficamos submetidos durante longos períodos sem nos damos conta. Ele é também o impacto mais complexo de ser mitigado.

A cidade de Belo Horizonte teve seu crescimento associado à eliminação de boa parte dos elementos que melhor lhe garantiriam qualidade de vida, como por exemplo as suas áreas verdes e vegetação ao longo do sistema viário, pois a cidade já teve a imagem de “cidade-jardim”, condição que foi substituída pela densificação, verticalização e supressão da cobertura vegetal nas vias quase sempre em prol da liberação de espaço para a circulação de veículos automotores. Diante deste cenário, a poluição sonora, como ficou demonstrado ao longo deste texto, só pode ser agravada.

A liberação da verticalização das áreas centrais também não parece ter levado em conta os reflexos acústicos que os novos volumes provocariam, talvez porque esse fenômeno fosse na época ignorado como indicador de qualidade de vida. Os movimentos em prol de um ambiente acústico sadio são recentes e quase sempre encarados como um luxo. Os danos decorrentes da poluição sonora também são

difficilmente percebidos como resultado direto da desqualificação ambiental e como fontes de níveis de estresse físico e mental.

Este trabalho se coloca como um estudo exploratório das possibilidades de criação de recursos metodológicos para o planejamento e ordenamento urbano, a partir de novas orientações para revisão de usos e aceitação de atividades segundo a capacidade da área. Sabe-se que a modificação da morfologia da cidade ocorre de forma lenta, então seria muito difícil atuar na forma da ocupação já existente, mas o presente trabalho demonstra que é possível reduzir o impacto nocivo da emissão da poluição sonora através da reconsideração do uso do solo, considerando limitações e potencialidades das características do espaço.

As análises feitas demonstraram que regiões como a Praça Sete de Setembro, no hipercentro de Belo Horizonte acumula trânsito carregado e altimetrias elevadas, porém a baixa concentração residencial e serviços de vulnerabilidade (saúde e educação) a tornam capaz de absorver perturbações sonoras mais significativas. Da mesma forma, se tem um indicativo para cada porção da área de estudo, indicando como atuar para que situações já degradadas sejam requalificadas, situações estáveis sejam mantidas ou tenham um uso sustentável que não as desequilibre, e para a proteção de áreas ainda qualificadas. É uma referência para o suporte à decisão.

Cabe destacar que o estudo se baseou em critérios defensáveis e reproduzíveis, ou seja: há replicabilidade e escalabilidade no processo. Outros pesquisadores podem repetir o roteiro metodológico em outros estudos de caso, e o mesmo procedimento pode ser aplicado ao restante de Belo Horizonte. No caso de interesse de reprodução do processo na própria cidade os dados de infraestrutura e serviços são disponibilizados na IDE BH Maps, mas no caso de outros municípios brasileiros os usuários podem contar com a plataforma Nacional INDE, faltando apenas os relativos a empreendimentos com atividades noturnas. Para os dados relativos a concentração de residências, como a fonte foi a CEMIG, o processo poderia ser reproduzido no estado de Minas Gerais. Para abordagem sobre cobertura vegetal, como o trabalho foi a partir de imagens de satélite poderiam ser usadas tanto as imagens RapidEye como as Imagens Sentinel-2. Para a variável de altura das edificações o usuário teria um significativo trabalho se seu município não disponibilizar

esses dados, mas é possível fazer visitas virtuais através do *Google Street View* e contar de modo simplificado e expedito o número de pavimentos e multiplicar por 3. Para o tema largura o BHMmaps disponibiliza a informação por trecho de via, para os demais municípios o usuário deverá usar uma ferramenta de geoprocessamento para mensuração de distância ortogonal entre linhas. Para os dados de carregamento de tráfego, mais uma vez a pesquisa se valeu da existência do dado disponibilizado pela Prefeitura, mas é possível capturar informações disponibilizadas por aplicativos de mídia social como o Waze®. O tema classificação viária depende de legislação própria de cada município, quando ele utiliza esse critério para autorização de uso comercial, industrial e de serviços; porém o próprio usuário pode propor uma classificação em função da largura de vias e capacidade de carregamento.

É estudo com critérios defensáveis porque a escolha de variáveis foi baseada em revisão bibliográfica sobre o tema, e se atuou com o princípio de variáveis *driven*, as principais e em uma relação mínima para que o estudo fosse expedito e sustentável. Quando não era possível coletar os dados esperados (a exemplo a mensuração do som), foram adotadas variáveis *proxy* que poderiam responder pelo fenômeno. O estudo é reproduzível porque a metodologia foi detalhada e apresentada, mas também porque as variáveis adotadas são possíveis de serem selecionadas para outras cidades. Há ampla replicabilidade e escalabilidade, por ter caráter expedito.

A contribuição da dissertação é o roteiro metodológico que pode ser aplicado para outras áreas. Mas mais do que um roteiro de caracterização e análise, é um roteiro que resulta em uma indicação sobre como atuar diante das condições de cidades já estabelecidas. Como desdobramentos futuros, cabe incluir a abordagem de percepção dos cidadãos, através de entrevistas e escutas sobre os seus valores. Esta etapa chegou a ser prevista, mas o desenvolvimento do trabalho coincidiu com o ano da COVID-19, o que impôs uma série de limitações. Não obstante, isto pode ser realizado como um próximo passo, e como calibração e validação da proposta aqui apresentada.

Referências Bibliográficas

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Técnica 10151: 2019. Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro. 2019

ALMEIDA CHIQUITO, E. de; PALHARES ZSCHABER DE ARAÚJO, R.; LISBOA DE PAULA, P. Geographic Visualization as a Planning Support Tool to Improve Public Participation in New Urban Development Decision Making Processes: Geodesigning Potential Housing Areas at the Iron Quadrangle in Minas Gerais, Brazil. Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 8, 17 ago. 2018.

BERANEK, L. L. Acústica. Ed. Hispano Americana S. A. 2ª ed. Buenos Aires, 1969.

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. Clima e cidade: uma abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. EDUFAL: Maceió, 164 p., 2007

BELO HORIZONTE. Lei nº 9.505 de 23 de janeiro de 2008. Dispõe sobre o Controle de ruídos, sons e vibrações no município de Belo Horizonte. 2008.

BISTAFA, S. R. Acústica Aplicada ao Controle de Ruído. 1ª edição. São Paulo, SP, Brasil: Editora Edgard Blücher. 2006

BIPM - Bureau International Des Poids et Mesures. Le Système International d'Unités. 8. ed. Paris: Stedi Media, 2006. 180 p. Disponível em: https://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8.pdf. Acesso em: 13 julho de 2020.

BOCHER, E., GUILLAUME, G., PICAUT, J., PETIT, G., FORTIN, N. NoiseModelling: an Open Source GIS Based Tool to Produce Environmental Noise Maps. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 8, n. 3, p. 130, 4 mar. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi8030130>.

BONHAM-CARTER, Graeme F. Geographic Information Systems for Geoscientists; modelling with GIS. Ottawa, Pergamon, 398 p., 1994.

BRASIL. Lei das Contravenções Penais. Decreto-lei nº 3.668, de 3 de outubro de 1941.

_____. Lei ordinária nº. 6938 de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. 1981.

_____. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm> Acesso em 12 jan.2018.

_____. Lei ordinária nº. 8213 de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. 1991.

_____. Código de Trânsito Brasileiro, instituído pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997.

_____. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. 1998.

BUZAI, Gustavo D., CUETARA, O., BAXENDALE, C.. El hecho geografico como unidad de tratamiento matricial; revalorizacion em geoinformatica y actuales perspectivas de aplicacion en la investigacion en geografia. 6º Encuentro de Geografós Latinoamericanos, Territorios em Redefinicion. Buenos Aires, Lugar Editorial, 1997, p. 285.

CAVALCANTE, R.M., ROCHA, C.A., SANTIAGO, I.S., SILVA, T.F.A., CATTONY, C.M., SILVA, M.V.C., SILVA, I.B., THIERS, P.R.L. Influence of urbanization on air quality based on the occurrence of particle-associated polycyclic aromatic hydrocarbons in a tropical semiarid area (Fortaleza-CE, Brazil). Air Quality,

Atmosphere & Health, v. 10, n. 4, p. 437–445, 15 set. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-016-0434-z>.

CERTU, Centre d'Études des Transpostes Urbaines. Guide du Bruit des Transportes Terrestres. Prevision des Niveaux Sonores. França: Ministère de l'Équipement et de l'aménagement du Territoire, França, 1980.

CORTÊS, M. M.; NIEMEYER, M. L. O potencial da utilização da ferramenta de mapa de ruído em diferentes escalas de análise. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, n. 11, p. 87–98, 31 dez. 1969. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n11.2014.12087>.

Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292 p. BRASIL.

Croome, D J. Noise, buildings and people. United Kingdom. 1977. 613p.

EU – EUROPEAN UNION; Poluição Atmosférica e Poluição Sonora, baseada nos Artigos 191.º a 193.º do Tratado sobre o Funcionamento da União Europeia (TFUE). Fichas técnicas sobre a União Europeia – 2020 (Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/home>, acesso: 02/05/2020).

_____ Guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway noise, and related emission data. Official Journal L 212, 22/08/2003 P. 0049 – 0064.

EVEREST, F. A. The master handbook of acoustics. 4th ed ed. New York: McGraw-Hill, 2001.

FARIAS, Talden. Análise jurídica da poluição sonora, Revista eletrônica Jusbrasil, artigo publicado em jan. 2007. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/9390/analise-juridica-da-poluicao-sonora/2>. Acesso em 20 mai. 2018.

FERNANDES, Wilma. Análise do Ruído Urbano na área Central de Luanda. Rio de Janeiro,

FLORENTINE, M.; POPPER, A.N.; FAY, R.R.; (Org.). Loudness. [S.l.]: Springer New York, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4419-6712-1>.

FIORILLO, C. A. P. Curso de direito ambiental brasileiro. 4. Ed. São Paulo: Saraiva, 2003. p. 116

FREITAS, G. P. de. Poluição Sonora – Aspectos Legais. Ed. UNISANTA: Universidade Santa Cecília, 2002.

GERGES, Samir. N. Y. Ruído. Fundamentos e Controle. 2. ed. Florianópolis: Editora Imprensa Universitária UFSC, 2000.

HALL, Edward T. A dimensão oculta. Tradução Miguel Serras Pereira. Ed. Martins Fontes, 2005. 258 p.

HINCU, G. Computer assisted evaluation of traffic noise level. Electronic Journal - Technical Acoustics, v. 19, 2003. Disponível em: <http://webcenter.ru/~eeaa/ejta/> Acesso em: fev. de 2020.

HOYUELA JAYO, J. A. Mapa Histórico Digital de Belo Horizonte. Disponível em: <https://mapahistoricobh.wixsite.com/>. Acesso em 6 de agosto de 2020

INSTITUTO DO AMBIENTE. O Ruído e a Cidade. Tradução e adaptação de Bertília Valadas e Maria João Leite. Portugal, jan. 2004. Disponível em: https://www.apambiente.pt/_zdata/DAR/Ruido/o_rudo_e_a_cidade.pdf. Acesso em: 13 set. 2018.

JOHNSON, G. T.; WATSON, I.D.; The Determination of View-Factors in Urban Canyons. Journal of Climate and Applied Meteorology, v. 23, n. 2, p. 329–335, fev. 1984. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<0329:TDOVFI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<0329:TDOVFI>2.0.CO;2).

KLUIJVER, H. de; STOTER, J.; Noise mapping and GIS: optimising quality and efficiency of noise effect studies. Computers, Environment and Urban Systems, v. 27, n. 1, p. 85–102, jan. 2003. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0198-9715\(01\)00038-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0198-9715(01)00038-2)

KNAUSS, D. Can Traffic noise be calculated? *In: EURONOISE. Anais...* Edinburgh, Scotland, 2009

LAVANDIER, C. ET DEFREVILLE, B.; The contribution of sound source characteristics in the assessment of urban soundscapes. *Acta Acustica unitedwith Acustica*, 2006 nº 92 ano 6; p. 912–921.2

LEDUC, E.; BESNARD, F.; GUIZARD, V.; ECOTIÈRE, D.; DOISY, S.; DUTILLEUX, G.; BÉRENGIER, M.; LELONG, J.; HAMET, J.; GAUVREAU, B.; The revision of the French method for road traffic noise prediction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, v. 123, n. 5, p. 3150–3150, maio 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1121/1.2933163>.

LEVY-LEBOYER, C.; NATUREL, V. Neighbourhood noise annoyance. *Journal of Environmental Psychology*, v. 11, n. 1, p. 75–86, mar. 1991. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80006-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80006-4).

LYNCH, K. A boa forma da cidade. Lisboa: Edições 70, 1981. 446p

MALAFIA, C.; SANTOS, M. J. O.; SLAMA, J. Integração de barreiras acústicas no contexto urbano. *In: VIII ENCONTRO NACIONAL NO IV AMBIENTE CONSTRUÍDO E ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais...* Maceió, 2005.

MALCZEWSKI, J. GIS and multicriteria decision analysis. New York: J. Wiley & Sons, 1999.

MARDONES, M. D. M. Mapeamento dos níveis de ruído em Copacabana, Rio de Janeiro, através de simulação computacional. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

MICHALSCKI, R.L.X.N.; Disciplina AUT0225: Conforto Ambiental em Espaços Urbanos Abertos. Notas de Aula. Universidade de São Paulo. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. 2018

MINAS GERAIS; Lei Estadual nº 7.302, de 21 de julho de 1978. Dispõe sobre a Proteção contra a poluição sonora no Estado. 1978.

_____; Lei Estadual nº 10.100, de 17 de janeiro de 1990, que altera a redação do 2º artigo da lei Lei nº 7.302/1978. 1990.

MINELLA, F.C.O., ROSSI, F.A., KRÜGER, E.L.; Influência do fator de visão do céu no conforto térmico em duas situações urbanas distintas. X ENCONTRO NACIONAL E VI ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Natal, 2009. Disponível: http://www.degraf.ufpr.br/docentes/francine/Publicacoes/Eventos/2009_ENCAC_Minella_Rossi_Krueger.pdf. Acesso: 12 dez. 2015

MOORE, J. E. Design for good acoustics and noise control. MacMillan Education Ltd, London, 1988.

MOURA, A.C.M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Ed. Da Autora, 2003, 294 p.

_____; Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análises de Multicritérios. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2899-2906, 2007.

Moura, A.C.M.; Jankowski, P.; Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios - "Sensitivity Analysis to Suitability Evaluation". Revista Brasileira de Cartografia (2016), n. 68/4, Edição Especial Geoinformação e Análise Espacial: p. 665-684.

MOURA, A.C.M., MAGALHAES, D.M.; A produção de informações sobre a ocorrência de áreas antropizadas como base para análises espaciais urbanas e regionais. Toluca - México, XIII CONFERENCIA IBEROAMERICANA DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (CONFIBSIG), 25 a 27 maio 2011. 22 p. http://www.inegi.org.mx/eventos/2011/conf_iberol/

MOURA, A.C.M.; MOURA, C.A.; SANTANA, S.A.; LANNA, L.S.; AZEVEDO, U C.; LOURENÇO, P. M.; Geoprocessamento nos diagnósticos e prognósticos de áreas de

interesse especial ao na área de influência das linhas de transmissão da CEMIG - estudo de caso da RMBH. Anais do XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, Aracaju-SE, 2010. P. 1570-1578.

MOURA, A. C. M.; MAGALHÃES, D. M.; PARIZZI, M. G. Vocações e Conflitos de Interesse na Ocupação do Território da Região Metropolitana de Belo Horizonte Apoio ao Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado PDDI. In: XV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2011, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. São José dos Campos: INPE, 2011. p. 0690-0697.

MOURA, A.C., TONDELLI, S., & MUZZARELLI, A. Complementary web-based geoinformation technology to Geodesign practices. *In* A. Leone & C. Gargiulo (Eds.), *Environmental and territorial modelling for planning and design*. (pp. 643-664). Naples: FedOAPress. 2018. ISBN: 978-88-6887-048-5, doi: 10.6093/978-88-6887-048-5.

MYNENI, R.B.; HALL, F.G.; SELLERS, P.J.; MARSHAK, A.L. "The interpretation of spectral vegetation indexes". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.33, p.481-486, 1995.

NAKAMURA, Y.; OKE, T. R.; Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment* (1967), v. 22, n. 12, p. 2691–2700, jan. 1988. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981\(88\)90437-4](http://dx.doi.org/10.1016/0004-6981(88)90437-4).

NIEMEYER, M. L.; SANTOS, M. J. O. Qualidade acústica no espaço urbano. In: VI ENCONTRO NACIONAL E III ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais... São Pedro, SP, 2001.

NIEMEYER, M. L.; SLAMA, J. G. O Ruído na Cidade: Elementos do Ruído Urbano. In: *Arquitetura: Pesquisa & Projeto*. Rio: Pró Editores. UFRJ, 1998.

NISENBAUM, M.; KÓS, J. R.; O estudo da Acústica Urbana através de Processos Digitais: Novas abordagens para uma elaboração metodológica. In: XIX CONGRESSO DA SOCIEDADE IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL 2015, nov. 2015, [S.I.]: Editora Edgard Blücher, nov. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5151/despro-sigradi2015-80239>.

OKE, T.R.; Boundary Layer Climates. 2 ed. Great Britain: Routledge. 1987. 431p.

_____; Street design and urban canopy layer climate. Energy and Buildings, v. 11, n. 1–3, p. 103–113, mar. 1988. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)

PALMA, M.I. O Mapa de Ruído como instrumento de planejamento: O caso da poluição sonora causada pelos automóveis no município de São Paulo. 2018. 115 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação Ambiente, Saúde e Sustentabilidade, Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

PANÃO, M.J.N.O.; GONÇALVES, H.J.P.; FERRÃO, P.M.C.; Numerical analysis of the street canyon thermal conductance to improve urban design and climate. Building and Environment, v. 44, n. 1, p. 177–187, jan. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.02.004>.

PICAUT J, LE POLLÈS T; L'HERMITE P; GARY, V.; Experimental study of sound propagation in a street. Applied Acoustics, v. 66, n. 2, p. 149–173, fev. 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2004.07.014>.

PINTO, F. A. N. C.; MARDONES, M. D. M. Noise mapping of densely populated neighborhoods: example of Copacabana, Rio de Janeiro - Brazil. Environmental Monitoring and Assessment, v. 155, p. 309-318, 2009.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de, Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico , 2ª Ed., Novo Hamburgo - RS, Associação Pró-Ensino Superior em Novo Hamburgo - ASPEUR Universidade Feevale, 2013.

RAMALHO, Roberto. Legislação Federal Sobre Poluição Sonora Urbana e competência dos municípios. 2011, 8 p. Disponível em: <https://domtotal.com/direito/pagina/detalhe/32635/legislacao-federal-sobre-poluicao-sonora-urbana-e-competencia-dos-municipios> , consulta em 01/12/2019.

ROCHA, C.A., SOUSA, F.W., ZANELLA, M.E., OLIVEIRA, A.G., NASCIMENTO, R.F., SOUZA, O.V., CAJAZEIRAS, I.M.P., LIMA, J.L.R., CAVALCANTE, R.M.; Environmental Quality Assessment in Areas Used for Physical Activity and Recreation in a City Affected by Intense Urban Expansion (Fortaleza-CE, Brazil): Implications for Public Health Policy. *Exposure and Health*, v. 9, n. 3, p. 169–182, set. 2017.

ROCHA, N. A., SENA, Í.S., CASAGRANDE, P.B., Castro, M.M., FONSECA, B.M., MOURA, A.C.M. Studies of Volumetric Relation Between Vegetation and Buildings Using LIDAR Data and NDVI to Propose Urban Parameters. *Revista Brasileira de Cartografia*, 2017.

ROUSE, J. W. “Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation” Type ii report, NASA/GSFCT, Greenbelt, MD, USA, 1973.

ROCHA, N.A, MOURA, A.C.M.; CASAGRANDE, P.; Análise Combinatória e Pesos de Evidência na produção de Análise de Multicritérios em modelos de avaliação. *GeoSIG (Revista Geografía y Sistemas de Información Geográfica)*. Luján, Año 10, Número especial, 2018, Sección I: Artículos. pp. 49-74.

SANTOS, V.S. dos.; Gestão da Poluição Sonora provocada pelo trânsito urbano no parque do Dique do Tororó utilizando ferramentas de GIS para tratamento da componente espacial. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia UFBA, Salvador.

SCHIMID, Aloísio Leoni. A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pactoambiental, 2005

SCHAFER, R. M.; *The Tuning of the World*. New York: A.A. Knopf, 1977.

SELIGMAN, J.; Efeitos não auditivos e aspectos psicossociais no indivíduo submetido a ruído intenso. *Rev Bras Otorrinolaringol*, nº 59(9): p. 257-259, 1993.

SILVA, C.F., 2013. O conforto térmico de cavidades urbanas: contexto climático do distrito federal. 2013. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 193 f.

SILVA, I.B., SILVA, T.L., ROCHA, C.A., CAVALCANTE, R.M., SILVA, M.V.C.; Uso da Geoestatística na Avaliação da Distribuição de Material Particulado Respirável na Cidade de Fortaleza, Ceará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 9, 334-344. 2016.

SILVA, L.C.M.; GENIUS LOCI: Piazza della Signoria em Florença, Itália e o Santuário de Bom Jesus de Matosinhos em Congonhas, Minas Gerais Brasil: uma abordagem dos aspectos históricos e artísticos. In: 3º COLÓQUIO IBERO- AMERICANO, PAISAGEM CULTURAL, PATRIMÔNIO E PROJETO, 3., 2014, Belo Horizonte, MG. Trabalhos. Belo Horizonte: UFMG, 2014. Disponível em: <http://www.forumpatrimonio.com.br/paisagem2014/trabalhos>. Acesso em: 15 fev. 2019.

SIMÕES, F. M.; VILLANOVA, L. H. B. A influência do desenho urbano na qualidade acústica das cidades: recuos urbanos. In: X ENCONTRO NACIONAL E V ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Anais... Natal, 2009.

SOUZA, D.S. Instrumentos de gestão da poluição sonora para a sustentabilidade das cidades brasileiras. Tese. Programa de pós-graduação de Energia da UFRJ. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

SOUSA, F.W., CAVALCANTE, R.M., ROCHA, C.A., NASCIMENTO, R.F., FERREIRA, A.G., Carbonyl compounds from urban activities and their associated cancer risks: The influence of seasonality on air quality (Fortaleza-Ce, Brazil). *Urban Climate*, v. 13, p. 110–121, set. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2015.03.004>.

STAHLECKER, P.; GÖTZ, T.; Some further results on the use of proxy variables in prediction. *The Review of Economics and Statistics*. The MIT Press. 1993. 75 (4): 707–711.

STEVENS, M.. Community memories for sustainable societies: The case of environmental noise. PhD thesis. Vrije Universiteit Brussel, Faculty of Science and Bio-Engineering Sciences. Advised by Luc Steels (promotor) and Ellie D'Hondt (co-promotor). Published by VUBPress/ASP Editions. ISBN 978-90-5718-128-3. June 2012.

TANAKA, S.; SHIRAIISHI, B.; Wind effects on noise propagation for complicated geographical and road configurations. *Applied Acoustics*, v. 69, n. 11, p. 1038–1043, nov. 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2007.07.007>.

TRUAX, B. (Editor). The music of environment series. In.: *Handbook for Acoustic Ecology*. Schools of Communication and Contemporary Arts at Simon Fraser University. 1978

VIERA JÚNIOR, C. D.; Proposta Metodológica para Elaboração de Mapas de Ruído em Ambiente SIG, segundo Norma ISO 9613-2. Dissertação de Mestrado. Itajaí, SC, Brasil: Universidade do Vale do Itajaí. 2011.

WHO: Guidelines for community noise, 1999. Disponível em <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>. Acesso em: 10 out. 2017.

XAVIER-DA-SILVA, Jorge. Geoprocessamento para análise ambiental. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. 228 p.

YORG, C.M.; ZANNIN, P.H.T. Noise evaluation in the Itaipu Binacional Hydroelectric Power. 27^o International Congress on Occupational Health. Iguassu Falls, Brazil, 2003.

ZANNIN, P. H. T.; SZEREMETTA, B. Avaliação da poluição sonora no Parque Jardim Botânico de Curitiba, Paraná, Brasil. *Caderno Saúde Pública*, Rio de Janeiro, n.19, p. 683-686, 2003

ZHANG, M., & KANG, J.; Towards the evaluation, description, and creation of soundscapes in urban open spaces. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 34, n. 1, p. 68–86, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1068/b31162>.