

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO**

KLISMAM FRANCIOSI PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO DO TRÁFEGO NO ENTORNO DA SEDE
ECOVILLE DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ**

MONOGRAFIA

CURITIBA

2019

KLISMAM FRANCIOSI PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO DO TRÁFEGO NO ENTORNO DA SEDE
ECOVILLE DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, pelo curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, do Departamento Acadêmico de Construção Civil, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai

Co-orientadora: Rosemara Santos Deniz Amarilla

CURITIBA

2019

KLISMAM FRANCIOSI PEREIRA

**AVALIAÇÃO DO RUÍDO DO TRÁFEGO NO ENTORNO DA SEDE
ECOVILLE DA UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO
PARANÁ**

Monografia aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, pela comissão formada pelos professores:

Orientador:

Prof. Dr. Rodrigo Eduardo Catai
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Banca:

Prof. Dr. Ronaldo Luis dos Santos Izzo
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. Dr. Cezar Augusto Romano
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Prof. M.Eng. Massayuki Mario Hara
Departamento Acadêmico de Construção Civil, UTFPR – Câmpus Curitiba.

Curitiba
2019

“O termo de aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso”

RESUMO

F. P., Klismam. **Avaliação do Ruído do Tráfego no Entorno da Sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.** 2019. 58. Monografia Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

O tráfego de veículos é o principal gerador de ruído no ambiente urbano e pode trazer uma série de efeitos prejudiciais ao deteriorar a qualidade acústica do ambiente universitário. Neste contexto, o objetivo geral definido foi medir e analisar os níveis de pressão sonora produzidos por veículos no entorno da sede Ecoville do Câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Fez-se medições dos níveis de ruído em 23 pontos. Destes, 19 foram pontos externos e 4 pontos internos ao terreno. O foco foi o ruído produzido pelo tráfego de veículos. Utilizou-se a metodologia descrita pela NBR 10151/00. Foram anotados o Nível Contínuo Equivalente (L_{Aeq}), o nível máximo (L_{max}) e o nível mínimo (L_{min}), bem como o número de veículos leves, pesados e motocicletas durante 10 minutos por ponto. Os valores encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Lei 10625/02 da cidade de Curitiba, NBR 10151/00, NR 15 e NR 17 do Ministério do Trabalho e Emprego. Produziu-se um mapa de ruído com os dados obtidos, o qual exhibe níveis de ruído a afetar as fachadas dos edifícios da sede. O mapa de ruído foi comparado ao gerado por Ansay (2013) para o ano de 2013. Ao concluir, há a confirmação de que os níveis encontrados ultrapassam o recomendado pelos limites comparados, com exceção do limite de 85 dB(A) estabelecido pela NR 15 para uma jornada de 8 horas, e que o ruído não parece ter aumentado ao longo do tempo, mas permanece em níveis consistentemente acima do recomendado e permitido.

Palavras-chave: Ruído de tráfego. Ruído em Campi Universitários. NBR 10151/00. Lei 10625/02 de Curitiba. Mapeamento de ruído. Normas Regulamentadoras.

ABSTRACT

F. P., Klismam. **Evaluation of Traffic Noise in the Surroundings of Câmpus Ecoville of the Universidade Tecnológica Federal do Paraná.** 2019. 58. Monografia Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Vehicle traffic is the main cause of noise in urban environment and brings a series of hazardous effects while deteriorates the acoustic quality of universities. With that in mind, the present work objective was to measure and analyze noise pressure levels generated by vehicles around the Ecoville campus of the Federal Technological University of Paraná (Universidade Tecnológica Federal do Paraná). Noise level measurements were made in 23 points. 19 of them were measured in external locations whilst 4 being measured inside the lot. Traffic around the university was the main source of this noise. Upon using the methodology explained by NBR 10151/00, equivalent continuous sound pressure level (L_{Aeq}), maximum level, and minimum level were measured, while also taking into account the number of light and heavy vehicles and motorcycles during 10 minutes per spot. Values were then compared against limits established by the World Health Organization (WHO), Curitiba's city regulation 10625/02, NBR 10151/00, NR 15 and NR17 from the Brazilian Ministry of Labor and Employment (Ministério do Trabalho e Emprego). A noise map was generated with the collected data, exhibiting noise levels to which the university's buildings are exposed. The noise map was then compared with the one generated by Ansay (2013) for the same year. In conclusion, noise levels surpass the limits established, except the 85 dB (A) limit defined by the NR 15 for an 8-hour work journey, and noise levels do not seem to have increased over time, albeit consistently crossing regulations and recommendations.

Keywords: Traffic noise. Noise in University Campus. NBR 10151/00. Curitiba's city regulation 10625/02. Noise Mapping. Normas Regulamentadoras.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Análise espectral ilustrada	12
Figura 2 – Curvas de exposição-resposta para o ruído do tráfego de veículos e do transporte aéreo.....	20
Figura 3 – Localização dos pontos de medição na UNICAMP, Campinas.....	24
Figura 4 – Localização dos pontos de medição no centro de Curitiba.....	26
Figura 5 – Mapa de ruído do centro de Curitiba	27
Figura 6 – Mapa de ruído do Hospital das Clínicas, Curitiba	28
Figura 7 – Seções definidas para medição do ruído ao longo do Câmpus Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.....	29
Figura 8 – Indicação das áreas avaliadas nos Campi Politécnico e Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.....	30
Figura 9 – Indicação dos pontos avaliadas no Câmpus Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba	31
Figura 10 – Mapa de ruído do Câmpus Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba	32
Figura 11 – Mapa de ruído em 2010 e 2017 do Câmpus Universitário de Çukurova, Turquia.....	33
Figura 12 – Indicação dos pontos de medição na sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba	34
Figura 13 – Mapa de ruído da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba	36
Figura 14 – Foto aérea da sede Ecoville	37
Figura 15 – Mapa da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba	38
Figura 16 – Pontos de medição de ruído e contagem de veículos	42
Figura 17– Ruído Contínuo Equivalente L_{Aeq} para o período Diurno - Manhã	44
Figura 18 – Níveis máximos e mínimos para o período Diurno-Manhã	45
Figura 19 – Ruído Contínuo Equivalente L_{Aeq} para o período Diurno - Tarde	46
Figura 20 – Níveis máximos e mínimos para o período Diurno-Tarde.....	47
Figura 21 – Ruído Contínuo Equivalente L_{Aeq} para o período Vespertino	48
Figura 22 – Níveis máximos e mínimos para o período Diurno-Tarde.....	49
Figura 23 – Média do Nível Contínuo Equivalente L_{Aeq} por ponto.....	50
Figura 24 – Mapa da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba	50
Figura 25 – Mapa de Ruído da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná	51
Figura 26 – Mapa de ruído da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVO.....	8
1.1.1 Objetivos Específicos	9
1.2 JUSTIFICATIVAS	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 DEFINIÇÃO DE SOM E RUÍDO	10
2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOM	11
2.2.1 Nível de Pressão Sonora	11
2.2.2 Frequência.....	11
2.2.3 Tempo	13
2.2.4 Tipos de Fontes.....	14
2.3 PRINCIPAIS DESCRITORES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.....	14
2.3.1 Nível de Pressão Sonora Ponderado no Tempo e na Frequência	14
2.3.2 Nível de Pressão Sonora Máximo e Mínimo	15
2.3.3 Nível de Percentil Excedente N	15
2.3.4 Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente	15
2.4 RELAÇÃO COM A SAÚDE	15
2.4.1 Irritabilidade, Desempenho Cognitivo e Saúde Mental.....	16
2.4.2 Doenças Cardiovasculares	19
2.5 ESTUDOS DE MAPEAMENTO DE RUÍDO	21
3 METODOLOGIA	37
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
3.2 LIMITES PARA O RUÍDO EXTERNO EM ÁREAS ESCOLARES	39
3.2.1 Limites para o Ruído Ocupacional.....	40
3.3 NORMA ABNT NBR 10151/00 – AVALIAÇÃO DO RUÍDO EM ÁREAS HABITADAS, VISANDO O CONFORTO DA COMUNIDADE	41
3.4 PONTOS DE MEDIÇÃO E CONTAGEM DE VEÍCULOS.....	41
3.5 DADOS ADICIONAIS, EQUIPAMENTO E MODELO UTILIZADO	43
4 RESULTADOS	44
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54

1. INTRODUÇÃO

O ruído ambiental sempre esteve presente nas vidas dos seres humanos, mas nunca foi tão invasivo, persistente e intenso como é hoje. Há relatos de que na Roma antiga e Europa Medieval haviam locais com regras quanto a movimentação de vagões e carruagens durante o horário de repouso dos cidadãos, a fim de lhes garantir descanso apropriado; na Idade Média, era esperado que trabalhadores como ferreiros, mineiros e os responsáveis pelo badalar dos sinos de igrejas perdessem sua audição ao longo dos anos (BERGLUND & LINDVALL, 1995; BERGLUND et al., 1999).

A evolução tecnológica que nos beneficia pela rapidez em transportes e na produção de bens de consumo, nos distancia muito de atribulações como as das épocas acima citadas e traz consigo diversos efeitos colaterais como a poluição do ar, água e solo; porém, em comparação com outros poluentes, o controle da poluição sonora foi dificultado devido à falta de conhecimento dos seus efeitos sobre nós, especialmente das relações de dose e resposta de nossos organismos ao ruído (BERGLUND & LINDVALL, 1995; BERGLUND et al., 1999).

Estudos mostram que o ruído provoca uma série de efeitos nocivos como interferência na comunicação, dificuldade na concentração, alteração do sono, reações psíquicas e somáticas além de induzir isquemias cardíacas, aumentando o risco de infarto (SCHADE, 2003). No ano de 1999, por volta de 40% da população dos países membro da União Europeia estava exposta ao ruído advindo do tráfego de veículos em nível de pressão sonora equivalente acima de 55 dB(A) durante o dia e 20% estava submetida a níveis acima de 65 dB(A); mais de 30% estava sujeita a níveis acima de 55 dB(A) durante a noite, limiar que pode perturbar o sono (BERGLUND et al., 1999).

Tais dados podem ser comparados criticamente quando há pesquisas que indicam que moradores de locais onde se incidam níveis médios de pressão sonora que superem o patamar de 65 dB(A) têm risco de infarto do miocárdio 20% superior às demais e advertem sobre diversos efeitos de distúrbios durante o sono sobre o sistema cardiovascular, o metabolismo e a mente. Estima-se que no ano de 2000, na Alemanha, 1800 mortes foram causadas pelo ruído advindo do tráfego de veículos acima de 65 dB(A) (SCHADE, 2003).

Considera-se que a fonte principal de poluição sonora no ambiente urbano é o tráfego de veículos, um problema relevante em cidades de países emergentes, como o Brasil, onde muitas vezes a exposição é mais elevada do que em países desenvolvidos devido ao mau planejamento (BERISTÁIN, 1998; BERGLUND et al., 1999; BLUHM et al., 2004).

O estado do Paraná observou um aumento de 200 mil carros em sua frota, chegando a 4 milhões no intervalo de 2015 a 2016. Na cidade de Curitiba, sua capital, foi possível acompanhar um aumento igualmente expressivo; de 2008 a 2014 o número de total de veículos cresceu 40%, o número de carros chegou a 978 mil enquanto a frota conjunta de carros, motos, caminhões, etc. alcançou 1,4 milhões. Apesar do crescimento no número de carros ter diminuído em 2016, Curitiba apresentava 976 mil veículos em junho deste ano, aproximadamente 24,4% de toda frota de carros do estado (GAZETA DO POVO, 2018).

Neste contexto e com um viés higienista, é interessante que se estime o nível de ruído a que a população frequentadora de instituições de ensino localizadas em centros urbanos estão expostos, valendo-se de normas e leis locais e internacionais. Nota-se que, para o rol de atividades realizadas em uma universidade, por exemplo, é relevante que se respeitem níveis adequados de ruído a fim de evitar diversos problemas, alguns deles já citados, que vão desde a improdutividade no trabalho até o desenvolvimento de distúrbios de saúde e a morte (BERISTÁIN, 1998; SCHADE, 2003).

1.1 OBJETIVO

Analisar os níveis de pressão sonora produzidos pelo tráfego rodoviário sobre a Sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná a fim de avaliar a conformidade destes com os limites estabelecidos por leis e normas locais e internacionais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Medir e identificar o ruído ambiental no Câmpus, com foco na descrição do ruído específico gerado pelo tráfego de veículos;
- Desenvolver um mapa de ruído para caracterizar a distribuição horizontal deste;
- Investigar a conformidade do ruído de tráfego, sintetizado através do mapa de ruído, com limites estabelecidos em referências especializadas: Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego (NR 15 – Atividades e Operações Insalubres, NR 17 – Ergonomia), Lei 10625/02 da cidade de Curitiba que “Dispões sobre ruídos urbanos [...]”, Norma Brasileira 10151/00 – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade e Organização Mundial da Saúde.
- Formular recomendações para outros trabalhos que possam contribuir para o planejamento da universidade.

1.2 JUSTIFICATIVAS

O local de estudo escolhido é a sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, localizada na região noroeste da cidade de Curitiba, possui 58 mil metros quadrados. Tal escolha justifica-se pois esta é ladeada por duas vias expressas que interligam a região central da cidade aos bairros e região metropolitana (UTFPR, 2019a). Ademais, Ansay (2013) realizou um levantamento acústico *in situ* no câmpus, anterior à conclusão física deste, concentrando seus esforços na produção de um mapa de ruído que demonstrou a inadequação dos níveis avaliados perante a legislação da cidade de Curitiba. É oportuno que cinco anos após este estudo a qualidade acústica do ambiente seja reavaliada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão apresentadas informações sobre o som e o ruído, suas definições, características físicas e descritores. Em outro momento, será realizada uma revisão dos efeitos do ruído na saúde da população com viés no contexto acadêmico estudado. Por fim, serão apresentadas pesquisas relativas ao mapeamento do ruído de tráfego.

2.1 DEFINIÇÃO DE SOM E RUÍDO

A diferença entre som e ruído é bastante subjetiva, afinal, são considerados fenômenos idênticos do ponto de vista acústico; não obstante, o que é som para um indivíduo pode ser encarado como ruído para outro. Assim, é oportuno considerar brevemente a definição de som a partir de dois vieses, o físico e o psicológico (BERGLUND e LINDVALL, 1995; GOELZER et al., 2001).

No primeiro, o som é produzido através de perturbações mecânicas, causadas pela vibração de corpos sólidos ou fluxo turbulento de fluídos, que são propagadas através de ondas longitudinais em um meio elástico, como o ar. Quando estas se encontram na faixa audível típica dos seres humanos, entre 20 Hz e 20000 Hz, provocam respostas fisiológicas ao atingir o ouvido e as vias auditivas. Estas reações no sistema nervoso causam percepções sensoriais que, psicologicamente, são o som. Assim, a classificação de padrões complexos de ondas físicas em música, fala, ruído e outros acontece, basicamente, como uma análise sensorial; há distinções nesta identificação para cada ouvinte humano (BERGLUND e LINDVALL, 1995; BIES e HANSEN, 2009).

De todo modo, o ruído pode ser definido como som ou energia acústica audível indesejável que pode, em certas ocasiões, acarretar efeitos negativos diretos e cumulativos para a saúde fisiológica e mental de indivíduos e comunidades. (BERGLUND e LINDVALL, 1995)

2.2 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOM

É de suma importância conhecer as características do ruído para que em uma análise o som seja corretamente descrito através da seleção dos parâmetros a medir, o equipamento adequado para tal e da duração das aferições. As principais características são o nível de pressão sonora, a frequência, o tempo e a fonte do som (BERGLUND e LINDVALL, 1995; BRUEL & KJAER, 2001).

2.2.1 Nível de Pressão Sonora

O indivíduo médio é capaz de ouvir sons relativos a variações de pressão de 20 μPa (limiar da audição) a 100 Pa (limiar da dor), valor no qual o som é tão elevado que pode causar dor. Pa se refere a Pascal, unidade de pressão. Uma vez que o ouvido responde de forma logarítmica aos estímulos e a faixa de pressão sonora na qual os seres humanos podem escutar é tão grande (de 10^{-5} a 10^2 Pa), os parâmetros acústicos associados à energia sonora são expressos em decibéis (dB), uma escala logarítmica que relaciona os valores medidos a um valor de referência (BERGLUND e LINDVALL, 1995; GOELZER et al., 2001; BRUEL & KJAER, 2001).

2.2.2 Frequência

A frequência (f) é o número de ciclos de variação de pressão sonora por segundo, expresso em Hertz (Hz). O tipo mais simples de som é o tom puro, ele apresenta um ciclo de pressão sinusoidal (periódico) que pode ser caracterizado por uma frequência fundamental, pelo comprimento de onda e pela amplitude da variação de pressão. No entanto, é comum que a constituição do som e do ruído apresente a combinação de diversas variações de pressão com frequências, amplitudes e fases diferentes, para as quais não há relação matemática simples que possa apoiar uma análise. Assim, considera-se que o som é uma combinação de diversas ondas sinusoidais que compõem o espectro de frequências do sinal e que, ao serem separadas, podem ser descritas mais facilmente (BERGLUND e LINDVALL, 1995; GOELZER et al., 2001).

Em variações de pressão cíclicas o espectro é constituído de uma série de frequências discretas, das quais há uma frequência fundamental que determina a característica tonal do som. Não obstante, apesar de algumas fontes sonoras apresentarem estas qualidades, na maioria delas a pressão varia erráticamente ao longo do tempo e o espectro de frequências é contínuo. Estas produzem um som chamado de aleatório, do qual o espectro pode ser representado por um agrupamento de ondas de todas as frequências. Este som não evidencia um tom definido, se assemelhando a, por exemplo, estrondos e assovios (BERGLUND e LINDVALL, 1995; GOELZER, 2001).

A Figura 1 ilustra os tipos de som discutidos previamente. (a) representa o som de tom puro, apresenta uma única frequência fundamental (f_1) em sua análise espectral (b); (c) representa a variação de pressão cíclica na qual o som é composto por algumas frequências discretas (f_1 , f_2 e f_3), exemplificadas em (d), onde é possível observar que a componente principal é f_1 ; (e) representa o som aleatório, no qual a pressão varia erráticamente e o espectro de frequências contínuo é dividido em bandas, das quais é possível aferir qual apresenta maior significância, como visto em (f) (GOELZER et al., 2001).

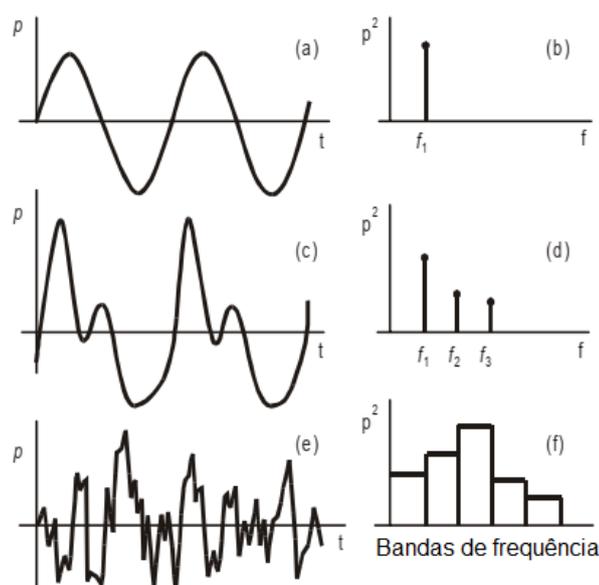


Figura 1 – Análise espectral ilustrada
Fonte: GOELZER et al. (2001)

São dez o número de bandas nas quais o espectro de frequências audíveis é dividido – como já comentado, este vai de aproximadamente 20 Hz a 20000 Hz. A divisão foi padronizada de forma a facilitar a comparação de resultados entre

pesquisas e instrumentos. São dois os comprimentos de bandas mais utilizados, os de oitava e os de um terço de oitava; aquele é o mais largo empregado em análises, enquanto este, descrito como mais curto, é aplicado quando se requerem mais detalhes sobre as características do ruído. Cada uma das dez bandas é reconhecida pelo seu valor de frequência central. Idealmente, todo o espectro fora da respectiva banda em análise é atenuado para que se evitem distorções. Este tipo de estudo é bastante útil na caracterização e quantificação do ruído, identificação de fontes e eficácia de controles desenvolvidos (BERGLUND e LINDVALL, 1995; GOELZER et al., 2001).

Como a audição humana é menos sensível a frequências muito altas ou muito baixas, compensações são aplicadas ao medir o som. A prática mais comum para obter uma aproximação da resposta do ouvido humano é a utilização do filtro de ponderação "A", expressado na unidade dos decibéis como dB(A) (BRUEL & KJAER, 2001).

2.2.3 Tempo

O ruído pode ser caracterizado como contínuo, intermitente ou impulsivo. O ruído contínuo é bem exemplificado por máquinas que trabalham sem interrupções, como transformadores e ventiladores, nas quais o nível de pressão sonora pode ser constante, flutuar sobre um valor ou ainda variar vagarosamente durante um período de tempo. Ao escolher um tempo de integração longo o suficiente é possível aproximar medições de nível de ruído à condição de continuidade, ou seja, o som parece estático. Assim, entende-se que o tempo de integração utilizado para medir sons de características estáveis e contínuas é de pouca importância desde que o mesmo tenha duração suficiente quando comparado ao período das flutuações de pressão sonora do som em questão. Comumente, visando obter leituras constantes quando o nível do sinal varia rapidamente, medidores de pressão sonora contam com a seleção do tempo de resposta *slow*, de 1 segundo, que ignora tais flutuações (BERGLUND e LINDVALL, 1995; BRUEL & KJAER, 2001; ISO, 2003).

O ruído intermitente é observado em máquinas que operam ciclicamente, ou ainda no momento que um veículo passa sozinho numa rua, de forma que o nível de pressão sonora aumente e diminua rapidamente. Por praticidade, o ruído pode ser

considerado contínuo em cada um dos ciclos de uma máquina, ou ainda quando o som produzido por diversos veículos são somados para simular um evento único (BRUEL & KJAER, 2001; ISO, 2003).

Explosões, tiros e impactos são exemplos de ruídos impulsivos. São definidos pela ABNT NBR 10151/00 como picos de energia acústica com duração menor que um segundo e que se repetem a intervalos maiores do que um segundo (ABNT, 2000; BRUEL & KJAER, 2001; ISO, 2003).

2.2.4 Tipos de Fontes

Uma fonte pode ser considerada pontual ou linear. A fonte é definida como pontual se a distância do ouvinte até ela é maior do que sua dimensão. Nestes casos, o nível de pressão sonora decresce 6 dB (A) com o dobro da distância e é o mesmo para todos os pontos igualmente distanciados da fonte, da qual o som é propagado esfericamente. Uma fonte linear é estreita em um eixo e longa no outro, utilizada como referência a distância até o ouvinte. É possível citar como exemplo estradas cheias de veículos. Aqui, o nível de pressão sonora decresce 3 dB (A) com o dobro da distância e é o mesmo para todos os pontos igualmente distanciados da linha, da qual o som é propagado cilindricamente (BRUEL & KJAER, 2001).

2.3 PRINCIPAIS DESCRITORES DE NÍVEL DE PRESSÃO SONORA

Os itens a seguir resumem os descritores de nível de pressão sonora (NPS) utilizados neste trabalho, com base no documento *Guidelines for Community Noise*, na norma internacional ISO 1996-1 e outros documentos pertinentes (BERGLUND e LINDVALL, 1995; BERGLUND et al., 1999; GOELZER et al., 2001; BRUEL & KJAER, 2001; ISO, 2003).

2.3.1 Nível de Pressão Sonora Ponderado no Tempo e na Frequência

O NPS, L_p , parâmetro de unidade dB medido por sonômetros, é calculado relacionando a raiz média quadrada da pressão sonora medida, p_{rmq} , com a menor

variação de pressão que um indivíduo jovem pode detectar, p_{ref} , ou seja, 20 μPa . Segue a equação (eq.1):

$$L_p = 10 \log_{10} \left(\frac{p_{rms}}{p_{ref}} \right)^2 \quad (\text{eq.1})$$

2.3.2 Nível de Pressão Sonora Máximo e Mínimo

São o maior e o menor NPS ponderado no tempo e na frequência dentro de um dado intervalo de tempo. São denotados como L_{max} e L_{min} .

2.3.3 Nível de Percentil Excedente N

É o NPS ponderado no tempo e na frequência que é excedido por N% do intervalo de tempo. É denotado como, por exemplo, L_{90} , para um nível que é ultrapassado por 90% do tempo ao longo da medição de duração definida.

2.3.4 Nível de Pressão Sonora Contínuo Equivalente

Denotado L_{Aeq} , é um descritor que sintetiza a energia acústica total pelo tempo. Usualmente utilizam da integração de níveis ponderados em "A". Resulta em um nível equivalente à média da energia acústica no período considerado.

2.4 RELAÇÃO COM A SAÚDE

Considerando os objetivos deste texto, a pesquisa de bibliografia relativa aos efeitos do ruído relevantes à saúde e produtividade de trabalhadores e estudantes mostra-se tão relevante quanto o exame de estudos que expõem a aplicação de metodologias para a aferição deste em instituições de ensino.

Estudos para a Europa ocidental promovidos pela Organização Mundial da Saúde demonstram que por volta de um milhão de anos de vida saudáveis são perdidos anualmente devido ao ruído de tráfego. Destes 0,62 se perdem em grandes áreas urbanas com mais de 250 mil habitantes. Pesquisas associam a poluição sonora e a exposição ao ruído de transportes (veículos, trens e aviões) com uma miríade de problemas de saúde como doenças cardiovasculares, comprometimento cognitivo em crianças, problemas psicossociais e psicológicos, distúrbios do sono, perda de audição e zunido nos ouvidos (tinnitus), irritabilidade, redução na recuperação de pacientes em hospitais bem como do desempenho no trabalho de profissionais da saúde, interferência na comunicação, efeitos na saúde mental e no desempenho, entre outros (BABISCH et al., 2005; BLUHM et al., 2007; MOUDON, 2009; BERGLUND et al., 1999; WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE, 2011; BASNER et al., 2014). A seguir são apresentados estudos relativos a alguns efeitos relevantes da exposição ao tráfego de veículos no contexto deste trabalho.

2.4.1 Irritabilidade, Desempenho Cognitivo e Saúde Mental

Irritabilidade é o efeito não auditivo predominante em populações expostas ao ruído, pode ocorrer quando este perturba atividades do dia a dia, sentimentos, raciocínio, qualidade do sono e descanso. Por conseguinte, pode incorrer em emoções negativas como raiva, ansiedade e angústia, além de stress e seus efeitos relacionados como, por exemplo, exaustão e desconfortos estomacais. Em situações graves, pode ter efeitos deletérios no bem estar e na saúde dos indivíduos afetados, uma vez que esta pode ser classificada em seu aspecto completo em saúde física, mental e social. Sua utilização como base para estimar a exposição da população ao ruído, realizada através de questionários, é usual e recomendada (BERGLUND et al., 1999; WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE, 2011; BASNER et al., 2014).

O ruído pode gerar uma série de efeitos sociais e comportamentais negativos além da irritabilidade, os quais são usualmente sutis e complexos – mudanças nos padrões diários de comportamento, no comportamento social, em indicadores sociais e no humor. A redução na compreensão e comunicação pode gerar diversos problemas relacionados à incapacidade de completar tarefas e

mudanças comportamentais – falta de concentração, irritação, desentendimentos, diminuição na eficiência do trabalho, entre outros. Usualmente, os indivíduos afetados aumentam o esforço vocal para compensar o efeito do ruído que interfere com a comunicação, o que exerce uma tensão adicional tanto nos falantes quanto nos ouvintes, que devem ter um empenho adicional para compreender o que foi dito sobre o ruído. Para a melhor compreensão de mensagens complexas, como em contextos escolares, a diferença entre os níveis de pressão sonora da fala e do ruído não deve ultrapassar 15 dB(A). Ainda, no contexto do trabalho, em curto prazo a excitação através do ruído pode aumentar a eficiência de tarefas simples, mas no longo prazo, a eficiência cognitiva para realizar tarefas complexas é bastante reduzida – leitura, atenção, capacidade de resolver problemas e memória são mais afetados (BELOJEVIC et al., 1997; BERGLUND et al., 1999).

Sobre efeitos na saúde mental, acredita-se que o ruído intensifica o desenvolvimento de distúrbios como ansiedade, stress emocional, náusea, dores de cabeça, instabilidade, impotência sexual, mudanças de humor, neurose, psicose e histeria. Estudos em populações inferem a relação da exposição ao ruído com diversos indicadores de saúde mental, como classificações de qualidade de vida, perfis padrão de sintomas psicológicos, a utilização de drogas psicotrópicas, tranquilizantes e drogas para dormir. No entanto, apesar de o ruído ambiental ser associado à deterioração do estado de saúde mental, distúrbios psiquiátricos são relacionados à sensibilidade e não à exposição ao ruído, o que pode denotar que cuidados especiais devem ser tomados com grupos vulneráveis (BERGLUND et al., 1999).

Zannin et al. (2002) distribuíram questionários aleatoriamente a 1000 residentes da cidade de Curitiba, Paraná, com o objetivo de caracterizar o incômodo gerado pelo ruído urbano. Dos 860 questionários devolvidos e analisados, o ruído de tráfego é a principal fonte geradora de ruído para 73% das pessoas, seguido pelo ruído produzido pelos vizinhos, com 38%, que, apesar disto, é colocada como a maior fonte de desconforto. As pessoas afetadas e incomodadas pelo ruído urbano relataram apresentar ao menos um dos efeitos irritabilidade, baixa concentração, insônia e dor de cabeça, com maior incidência dos primeiros dois itens.

A pesquisa de Song et al. (2007) apresenta uma avaliação da influência de características físicas e sociais do meio na percepção do stress gerado pelo tráfego, o qual afeta a qualidade de vida da população. Os indivíduos estudados

representam uma parcela dos Chineses Americanos que vivem em Los Angeles. Os resultados sugerem que a percepção stress está associada à redução na saúde e à depressão. Ademais, a intensidade do fluxo de veículos reforça a influência negativa da percepção do stress, o que por sua vez pode ser um potencial fator deletério na saúde.

Em um estudo que relacionou a exposição ao ruído ambiental e o estado de saúde percebido pela população da província de Castelnuovo di Porto, Itália, La Torre et al. (2007) verificaram que pessoas expostas a níveis acima de 65 dB(A) apresentaram pontuações significativamente menores na escala de saúde mental utilizada na pesquisa. A cidade de 7695 habitantes é atravessada por uma ferrovia, uma autoestrada e uma via principal, ambas de grande fluxo de veículos, portanto, áreas com níveis elevados de ruído, de onde metade dos participantes da pesquisa foram selecionados.

Goswami et al. (2011) realizaram medições de ruído ao longo de uma auto estrada que liga dois câmpus universitários na cidade de Basalore, Índia. Foram aferidos 20 pontos em cinco locais, estes apresentaram nível mínimo de 70,1 dB (A) e máximo de 124,3 dB (A). Adicionalmente, um questionário foi aplicado a 136 habitantes locais para detectar o nível de tolerância e percepção do ruído gerado pelo tráfego de veículos. Em dois dos locais a população considerou ser mais vulnerável aos efeitos da poluição sonora do que do ar ou da água, 53% dos questionados afirma que suas dores de cabeça são causadas pelo ruído em excesso e 86% dos estudantes tem seus estudos interrompidos pelo ruído gerado por buzinas.

Zannin et al. (2012) aplicou um questionário a 389 pessoas que frequentavam o câmpus Politécnico da Universidade Federal do Paraná a fim de obter dados demográficos, comportamentais e sobre a percepção do som. Os resultados deste foram correlacionados a valores de nível de ruído medidos em 58 pontos ao redor do terreno da instituição. Quase metade dos respondentes (47%) afirmou se irritar com o ruído, 39% dos participantes detectou um aumento nos níveis de ruído e as fontes de poluição sonoras mais irritantes foram o tráfego de veículos, construções em andamento, pessoas falando e o corte da grama, cada uma destas com 27%, 25%, 25% e 12% das respostas, respectivamente. Os efeitos negativos percebidos e associados ao ruído foram dificuldade de concentração (43%), irritação (25%), dores de cabeça (12%), além de uma parcela de

entrevistados que não detectou sintomas (13%). Ainda, o estudo demonstra que há uma correlação boa entre os dados objetivos e subjetivos, no sentido de que níveis de ruído elevados são percebidos pela população afetada.

Tzivian et al. (2017) analisou os efeitos da exposição combinada à poluição do ar e sonora. Avaliou a capacidade cognitiva de 4086 indivíduos ao verificar a exposição de longo prazo a materiais particulados e óxidos de nitrogênio bem como ao ruído de tráfego de veículos através da média ponderada ao longo de 24 horas e à noite. A modificação dos efeitos de associações entre poluição do ar e sonora sobre as funções cognitivas foi avaliada através de modelos. Estes demonstraram aumento na relação entre poluição do ar e capacidade cognitiva quanto maior o nível de exposição ao ruído, sugerindo que estes agem sinergicamente em adultos. Ainda foi observado que a exposição a apenas um dos fatores em quantidade dobrada exerceu efeitos mais intensos do que as estimativas feitas para a adição dos fatores.

2.4.2 Doenças Cardiovasculares

Com o objetivo de relacionar o ruído de tráfego com doenças cardiovasculares, estudos epidemiológicos analisaram a pressão sanguínea, níveis de hipertensão e doenças isquêmicas do coração. Há evidências crescentes de que o ruído de tráfego de veículos crônico aumenta o risco de desordens cardiovasculares, afetando fatores de risco biológicos como pressão sanguínea, lipídios no sangue, regulação de glucose, fluxo sanguíneo, entre outros, além de liberar hormônios do stress (WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE, 2011; BASNER et al., 2014). Análises feitas para estimar a curva de exposição-resposta para o ruído de tráfego e doenças cardíacas denotam elevação no risco de 7% a 17% para cada aumento de 10 dB(A) no nível de ruído contínuo equivalente. A Figura 2, construída com base em diversos estudos sobre a resposta ao ruído, demonstra a relação entre os ruídos de tráfego de veículos e do transporte aéreo com o risco de hipertensão, infarto do miocárdio e derrame cerebral (BASNER et al., 2014).

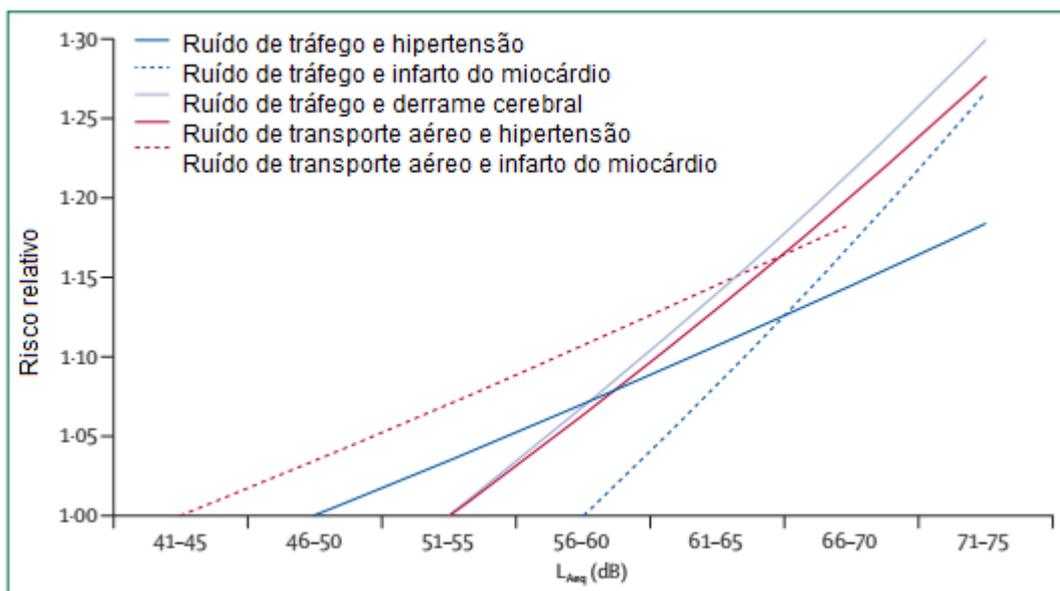


Figura 2 – Curvas de exposição-resposta para o ruído do tráfego de veículos e do transporte aéreo
Fonte: BASNER et al. (2014)

Vienneau et al. (2015) realizaram uma análise de estudos que associam a exposição a ruídos de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo à doenças isquêmicas do coração, avaliando as curvas de exposição-resposta, limites e fontes de heterogeneidade. Encontrou indícios de uma relação linear e positiva entre os fatores a partir de níveis tão baixos quanto 50 dB L_{den} (nível equivalente composto pelo ruído medido ao longo das faixas horárias diurna, vespertina e noturna), com aumento relativo de 6 % em doenças isquêmicas do coração a cada patamar de 10 dB. Segundo os pesquisadores, a relação não é necessariamente linear, porém sua decisão por tal modelo é baseada em estudos recentes. Apesar de o número de estudos para cada classe ser reduzido, de características estatisticamente insignificantes, há alusões a diferentes vulnerabilidades dentre a população, com maior risco dentre pessoas do sexo masculino, as que moram em seu endereço a mais tempo (implicando ou exposição crônica ou casas menos isoladas) bem como indivíduos com mais de 65 anos de idade.

Em um estudo de caso controle realizado em hospitais na cidade de Berlim, Alemanha, Babisch et al. (2005) concluíram com resultados que suportam a hipótese de que a exposição crônica à níveis elevados de ruído aumenta o risco de doenças cardiovasculares em homens. Ao comparar indivíduos do sexo masculino que moravam em locais expostos ao ruído de 70 dB(A) e 60 dB(A), o primeiro grupo apresentou maior risco de infarto do miocárdio, com OR (*odds ratio*)=1,01 (intervalo

de confiança ou IC = 0,77 – 1,31) para a faixa de 61-65 dB(A) e OR=1,27 (IC=0,88 – 1,84) para a faixa de valores iguais ou acima de 70 dB(A); ao estudar somente um conjunto no qual as pessoas moraram no local afetado por ao menos 10 anos o risco encontrado é ainda maior, com OR=1,81 (IC=1,02 – 3,21) para níveis iguais e acima de 70 dB(A). A relação direta de dose resposta entre risco de infarto e nível de ruído está presente em ambos os casos.

Para aferir a possível associação entre hipertensão e ruído de veículos, Bluhm et al. (2007) aplicaram um questionário sobre efeitos na saúde relacionados a diversos fatores ambientais – alergias, fatores ambientais de risco locais, irritação e insônia devido ao ruído e o diagnóstico positivo ou negativo de hipertensão nos últimos 5 anos – em uma cidade de 55 mil habitantes ao norte de Estocolmo, Suécia, no ano de 1997. O procedimento de amostragem garantiu um número suficiente de indivíduos expostos ao ruído, enquanto a avaliação do mesmo foi expressa como média anual de nível de ruído equivalente por 24 horas. Além disso, dados sobre o sexo, idade, ocupação, utilização de cigarros, anos vividos na mesma residência, tipo e direcionamento de janelas, idade do edifício entre outros também foram obtidos. A análise estatística dos dados sugere uma relação de exposição-resposta entre o ruído de tráfego e hipertensão, onde há potencial aumento do efeito da poluição sonora sobre esta doença em situações nas quais os indivíduos moram na mesma residência a mais de 10 anos, residem em casas construídas antes de 1976 (ano em que foram implementadas novas regulamentações para construção na Suécia) e têm as janelas dos quartos voltadas para a rua.

2.5 ESTUDOS DE MAPEAMENTO DE RUÍDO

Segundo Landim et al. (2002), em um estudo espacial é importante priorizar e definir, dentre outros, a escolha da malha de amostragem. Esta pode ser aleatória, com distribuição de pontos casual; agregada, com agrupamentos de pontos e homogênea, com pontos regularmente espaçados. Denota ainda que o ideal seja utilizar o método homogêneo. Não obstante, este depende de mais recursos para que a coleta de dados seja executada com sucesso. Assim, o arranjo mais utilizado é o agregado, seguido do aleatório e, por fim, do homogêneo.

Apesar disto, em análise da metodologia utilizada em dezenove mapeamentos de ruído ambiental e exposição da população ao ruído, Nagem (2004) afirma que a construção de malhas de amostragem homogêneas tem sido recorrente. Estas apresentam formatos triangulares ou retangulares e distanciamento entre os pontos variável; há pontos com espaçamentos de 10 m a 1000 m, 400x400m, 500 a 2000 m dependendo da densidade populacional e outros que utilizam, por exemplo, a homogeneidade dos níveis de ruído captados como critério para definição do intervalo espacial.

Também verificou e comparou os dias, horários e duração das medições, bem como as grandezas acústicas, meteorológicas, de tráfego e geométricas aferidas nestes trabalhos. O objetivo do mapeamento deve guiar a seleção destes. Quanto aos dias, observou que podem ser escolhidos todos os dias de um certo número de anos, apenas fins de semana, dias úteis – as vezes ambos para comparação – ou ainda dias típicos, como terças, quartas e quintas-feiras de semanas sem feriados. Constatou que comumente são escolhidas faixas de horários para a análise, como matutino, vespertino e noturno, de forma que estas representem as características do meio e fontes de ruído estudadas, como em horários de pico de tráfego de veículos. Além disso, a triagem de horários está relacionada ao desimpedimento de tempo e equipamentos, podendo, em ocasiões ideais, levar à seleção de faixas de medições que englobam até 24 horas. O tempo de duração das medidas utilizado nos trabalhos variou muito; utilizou-se em alguns deles de 10 em 10 segundos durante duas horas, 15 em 15 segundos durante 15 minutos (min), a cada 5 min, de 10 min a 15 min, 4 medidas de 12 min por ponto, 30 min por hora ou ainda de 30 a 45 min. Na maioria das situações foram escolhidos períodos entre 5 e 15 min (NAGEM, 2004).

Em grande parte dos trabalhos que analisou foram aferidas as grandezas acústicas nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{Aeq}), nível de pressão sonora máximo (L_{max}), nível de pressão sonora mínimo (L_{min}), nível de pressão que foi ultrapassado 90% do tempo (L_{90}) e nível de pressão sonora que foi ultrapassado 10% do tempo (L_{10}). Foram verificados com menor frequência os níveis de pressão sonora estatísticos utilizando outros percentis (L_5 , L_{20} , etc.), os níveis de exposição sonora (L_{AE}), nível sonoro médio dia-noite (L_{dn}) e o nível sonoro de pico (L_{peak}). As grandezas meteorológicas conferidas foram majoritariamente a temperatura, a umidade relativa e a velocidade do vento, juntamente com a direção predominante

dos ventos em alguns casos. Tais fatores podem influenciar na propagação do ruído no ambiente (NAGEM, 2004).

Quanto aos dados sobre o tráfego de veículos, usualmente foram obtidos o fluxo de veículos, classificados em leve, motocicletas, e pesados, e a velocidade média destes. Por fim, as grandezas geométricas habitualmente investigadas foram dimensões do pavimento e dos canteiros, como largura, inclinação, número de pistas, topografia, obstáculos e seu estado de conservação, distância do ponto de aferição até a via e características das fachadas dos prédios como alturas médias, distância entre elas e protuberâncias ou saliências (NAGEM, 2004).

Em sua própria análise do ruído ambiental no câmpus da UNICAMP, localizado no distrito de Barão Geraldo, noroeste do município de Campinas, utilizou uma malha triangular com 28 pontos distanciados 450 m entre si, dos quais alguns foram deslocados para que obedecessem a um padrão de 0,50 m das vias de tráfego (Figura 3). As medições foram feitas em terças, quartas e quintas-feiras, com exceção de feriados, distribuídas ao longo de três meses (abril, maio e junho), em apenas um ponto por dia durante 12 horas contínuas, das 7:00 h as 19:00 h. Esta faixa horária foi selecionada pois vai de encontro ao horário comercial ao considerar previamente o período de deslocamento das pessoas para suas atividades diárias. Os mapas acústicos que produziu, no entanto, se referem somente aos níveis de pressão sonora verificados durante horários de pico do tráfego de veículos, de 8:00 h a 9:00 h, de 12:00 h a 13:00 h e de 17:00 h a 18:00 h. Durante o texto, considera a conveniência de ao menos uma medição contínua por um período de tempo prolongado para que se identifiquem os horários de medição, conforme os objetivos do trabalho. Os dados foram coletados a cada 5 min, frequência que, segundo a autora, gera uma análise refinada do ambiente acústico, além de facilitar o trabalho devido a características do sonômetro utilizado (NAGEM, 2004).



Figura 3 – Localização dos pontos de medição na UNICAMP, Campinas
 Fonte: NAGEM (2004)

Devido à característica comparativa de seu trabalho, mediu em todos os pontos o nível de pressão sonora contínuo equivalente (L_{Aeq}), os níveis de pressão sonora máximo (L_{max}) e mínimo (L_{min}), os níveis estatísticos L_1 , L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} e L_{99} , o nível de exposição sonora (L_{AE}) e o nível sonoro de pico (L_{peak}). A fim de validar a relação destes descritores para caracterizar o ruído de tráfego, realizou testes de regressão linear simples e múltipla entre L_{max} , L_{min} , L_{10} , L_{50} , L_{90} e L_{Aeq} e o número de veículos leves e pesados. O resultado demonstrou que L_{Aeq} , comumente utilizado para descrever o ruído ambiental, e o número de veículos apresenta coeficientes de determinação mais elevados que os demais descritores. No entanto, os dados obtidos mostram que L_{10} é o melhor descritor para situações onde há grande parcela do ruído gerada pelo tráfego de veículos. Todavia, este nem sempre tem correlação boa o suficiente em casos gerais, onde há ruídos de diversas fontes,

assim, é limitado a situações específicas. Constatou também a redundância de se coletar a maioria dos níveis estatísticos e conclui que é possível utilizar, por exemplo, apenas L_{max} , L_{min} , L_{10} , L_{90} e L_{Aeq} sem grande perda de informações (NAGEM, 2004).

As grandezas meteorológicas verificadas foram velocidade máxima e mínima do vento, temperatura e umidade relativa. As grandezas de tráfego coletadas foram fluxo e composição da frota, separada entre veículos leves e pesados. Foram coletadas grandezas geométricas e físicas relativas ao pavimento da via (tipo, conservação, largura, número de pistas), à calçada e canteiros (largura), às edificações (altura média e distância entre construções opostas) bem como à distância do medidor até o obstáculo e cruzamento mais próximos e outras características da via, como por exemplo, a presença de lombadas. Durante a medição descreveu características do ruído ambiental e eventos específicos, juntamente com o horário de ocorrência, como a utilização de cortadores de grama, a presença de torre de resfriamento de ar condicionado, entre outros (NAGEM, 2004).

Em conclusão, Nagem (2004) discorre que todos os pontos em que fez medições apresentaram níveis de pressão sonora equivalente de 50 dB(A) a aproximadamente 75 dB(A), independentemente do horário de aferição. Estes valores ultrapassam o limite de 50 dB(A) para o conforto da comunidade em áreas escolares, hospitalares ou residenciais durante o dia, estipulado pela norma NBR 10151/00 (ABNT, 2000). No entanto, pondera que, quando comparados ao limite de exposição ao ruído de 85 dB(A) em uma jornada de 8 horas diárias definido pelo Ministério do Trabalho e Emprego (2019), os valores estariam adequados e não acarretariam na deterioração da saúde de trabalhadores.

Andrade (2012) produziu mapas de ruído do centro da cidade de Curitiba para sua dissertação de mestrado. Apesar da área de estudo, significativamente maior quando comparada a da sede Ecoville da UTFPR, há valor na análise da metodologia empregada. Para definir os horários com maiores níveis de pressão sonora a fim de preparar e planejar as medições definitivas, realizou aferições preliminares em três pontos, escolhidos devido ao grande fluxo de veículos, das 7:01 h as 19:00 h, somente em dias úteis, durante 15 minutos/hora por 10 dias, totalizando 10 medições de 15 minutos por faixa horária para cada um dos pontos. Os resultados expressaram níveis de pressão sonora médios acima de 65 dB(A) em

todos os pontos e os períodos críticos se deram entre 7:01 h e 10:00 h, 12:01 h e 14:00 h e 17:00 h e 19:00 h. Para as avaliações definitivas, estabeleceu 416 pontos distribuídos por quarteirões no centro da cidade e em suas principais vias de acesso (Figura 4) onde foram feitas três medições de 10 minutos para cada ponto em dias distintos e durante os períodos críticos definidos. Para elaboração do mapa acústico também foi necessário que as dimensões básicas das edificações e vias principais fossem obtidas.

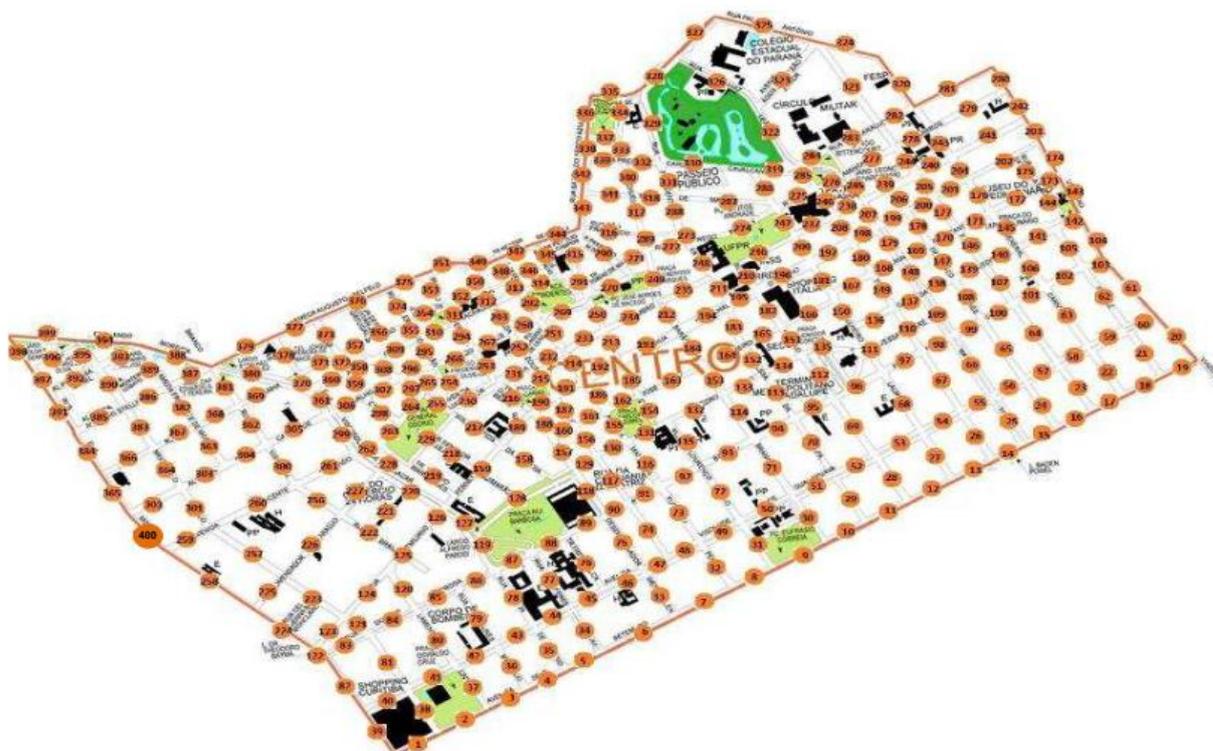


Figura 4 – Localização dos pontos de medição no centro de Curitiba
Fonte: ANDRADE (2012)

Em análise e conclusão, afirma que os níveis de pressão sonora encontrados em todos os pontos ultrapassam o limite de 65 dB(A) definido para a zona central pela Lei Municipal 10625/2002 da cidade de Curitiba (SMMA, 2002). Segundo os mapas acústicos desenvolvidos (Figura 5) os níveis de pressão sonora encontra-se em sua maioria dentre 75 e 80 dB(A). Nota, ainda, que os valores encontrados são aceitáveis ao serem comparados ao limite de exposição ao ruído ocupacional de 85 dB(A) durante 8 horas estabelecido pela NR-15 (BRASIL, 2019).



Figura 5 – Mapa de ruído do centro de Curitiba
Fonte: ANDRADE (2012)

Em trabalho no qual foram avaliados os níveis de pressão sonora na fachada exterior de frente à entrada principal e no interior do Hospital das Clínicas da Universidade Federal do Paraná, Zanin e Ferraz (2016) equipararam os valores encontrados externamente, a partir de um mapa acústico, aos limites determinados pela Lei 10625 do município de Curitiba (SMMA, 2002) e pela Norma Brasileira 10151/00 (ABNT, 2000). O hospital está localizado na Rua General Carneiro, na área central da cidade. Medições foram feitas em 30 pontos no exterior e 21 no interior do hospital. A cada 10 metros um ponto de medição foi selecionado ao longo da fachada principal do edifício, de 300 metros. Em cada um, foram medidos os níveis de pressão sonora equivalente durante 10 min, ao passo que o número de motocicletas, veículos leves e pesados foi contado no período diurno em dias úteis. A altura padrão utilizada para inserção dos edifícios no modelo foi de 3 metros por piso. Em análise do mapa de ruído (Figura 6), o nível de pressão sonora equivalente mínimo encontrado na fachada principal é de 57 dB(A) – todos os pontos apresentam níveis acima do estipulado pela legislação – e a fonte de ruído externo predominante é relativa ao tráfego de veículos. O ruído interno, atribuído a conversas entre funcionários e estudantes residentes e à intensa movimentação de pessoas no hospital, o maior do estado do Paraná, também ultrapassou os limites definidos pela norma NBR 10152, que trata do ruído interno (ABNT, 1987).

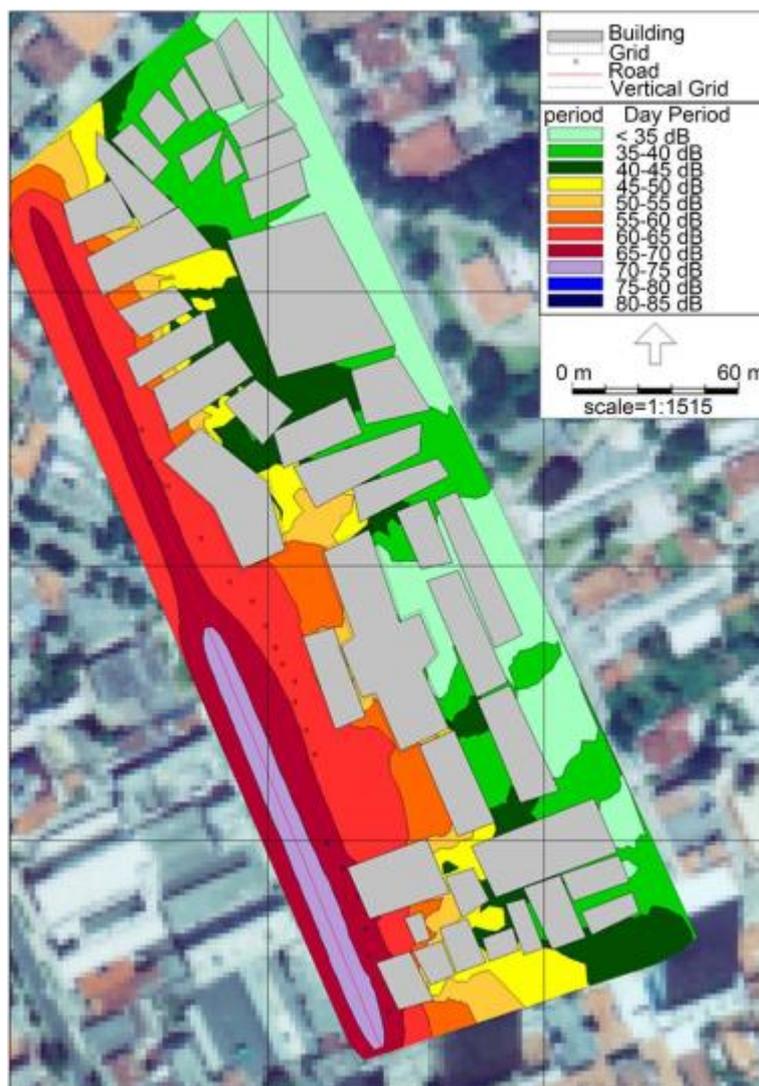


Figura 6 – Mapa de ruído do Hospital das Clínicas, Curitiba
Fonte: ZANNIN e FERRAZ (2016)

Zanin et al. (2014) realizaram uma análise espectral do ruído no entorno do Câmpus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR). Comparou os níveis de pressão sonora contínuos equivalentes encontrados aos estipulados pela Lei 10625 do município Curitiba e pela Norma Brasileira 10151/00 (ABNT, 2000; SMMA, 2002). Ao definir os pontos de medição utilizou quatro linhas que acompanhavam as vias de maior tráfego de veículos ao redor do câmpus a fim de aferir o nível de ruído sobre as fachadas das edificações mais atingidas (Figura 7). Escolheu 41 pontos ao longo destas linhas, distribuindo-os no entorno de todo o câmpus. A densidade de pontos foi maior próximo a áreas com elevada concentração de edificações e grande fluxo de veículos – foram 11 pontos sobre a linha “A”, 14 pontos sobre a linha “B”, 5 pontos sobre a linha “C” e 11 pontos sobre a linha “D”. A duração das medições foi de 15 min por ponto, durante o período de

13:30 h até 16:30 h, de setembro à novembro de 2013. Foram coletados o nível de pressão sonora contínuo equivalente, o nível de pressão sonora máximo e mínimo, assim como o espectro de frequências gerado pelas fontes de ruído que afetam o câmpus. Verificaram, também, as características de veículos (leves ou pesados), velocidade de controle, quantidade de pistas nas vias e cruzamentos. Concluiu que, dos 41 pontos aferidos, todos apresentam nível de pressão sonora contínuo equivalente superiores ao estipulado pela norma NR 10151/00 e 28 deles não atendem à Lei 10625/2002 do município de Curitiba (ABNT, 2000; SMMA, 2002).



Figura 7 – Seções definidas para medição do ruído ao longo do Câmpus Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: ZANNIN et al. (2014)

De forma semelhante, Zannin e Paz (2012) avaliaram a poluição sonora nos câmpus Centro Politécnico e Jardim Botânico da UFPR. Compararam o nível de pressão sonora contínuo equivalente, máximo, mínimo e os níveis de pressão sonora estatísticos (L_1 , L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95} e L_{99}) aos limites estabelecidos pela Lei 10625 do município Curitiba e pela Norma Brasileira 10151/00 (ABNT, 2000; SMMA, 2002). Quatro áreas dos campi foram escolhidas segundo os seguintes critérios: para as regiões 1, 3 e 4 o fluxo de pessoas e a proximidade de vias de tráfego foi determinante, enquanto que para 2 a ausência de edificações próximas facilitaria a detecção de ruído gerado por aeronaves (Figura 8). As medições foram realizadas no período aproximado de 10:00 h a 11:00 h, com uma medição por área. Os

tempos de medição diferiram em cada ponto: em 1 durou 24 min; em 2, 19 min; em 3, 30 min; em 4, 25 min. As características da vias e do fluxo de veículos – tipo de via, número de faixas, largura das faixas e velocidade permitida – foram obtidas para os locais pertinentes. Concluiu que todas as áreas apresentam níveis de pressão sonora acima do estipulado para áreas voltadas ao uso educacional, tanto pela lei quanto pela norma, assim, caracterizou os campi como poluídos acusticamente devido, principalmente, ao tráfego de veículos como principal fator deteriorante.



Figura 8 – Indicação das áreas avaliadas nos Campi Politécnico e Jardim Botânico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: ZANNIN e PAZ (2012)

Zannin et al. (2012) buscaram relacionar as metodologias de mapeamento acústico e de entrevistas ao estudar o Câmpus Centro Politécnico da UFPR. Houve uma aferição objetiva, que consistiu na medição dos níveis de pressão sonora e confecção do mapa de ruído, e uma subjetiva, na qual foi verificada a percepção do ruído pela população no local do estudo. Foram selecionados 58 pontos ao redor do câmpus (Figura 9) nos quais se aferiu o nível de pressão sonora contínuo equivalente e o fluxo de veículos, divididos entre leves e pesados, durante 3 minutos em cada posição. As características velocidade média de tráfego, qualidade do asfalto e altura de edifícios foram generalizadas em 40 km/h (limite da via), boa qualidade e 7 m, respectivamente. As medições se deram de segunda-feira a sexta-feira durante o período de 13:30 h a 17:30 h. No mapeamento acústico foi utilizada

uma grade de 5 m x 5 m x 4 m. Com o objetivo de obter dados demográficos, comportamentais e analisar a percepção do ruído foi aplicado um questionário nas áreas do câmpus com maior concentração de pessoas.



Figura 9 – Indicação dos pontos avaliados no Câmpus Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: ZANNIN et al. (2012)

Verificou-se que em 52 dos 58 pontos, nos quais a fonte de ruído predominante é o tráfego de veículos, os níveis de pressão sonora medidos excederam o limite de 55 dB(A) recomendado pela Organização Mundial da Saúde (BERGLUND et al., 1999) para áreas urbanas com fins educacionais (Figura 10). Comparativamente, o questionário mostra que as fontes de ruído que causam maior irritação no câmpus são o tráfego de veículos (27%), a construção civil (25%), conversas entre pessoas (25%) e cortadores de grama em funcionamento (12%). Estes dados demonstram que a população afetada reconhece e detecta níveis elevados de ruído e evidenciam o potencial da utilização em conjunto de dados objetivos com dados subjetivos – medição, mapeamento e questionário.

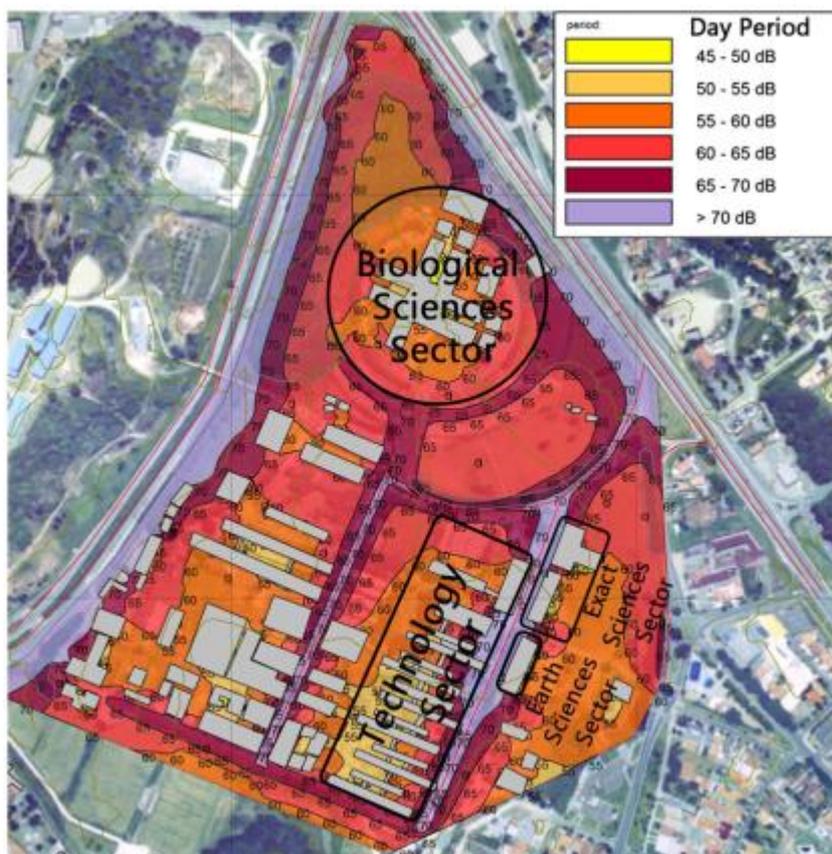


Figura 10 – Mapa de ruído do Câmpus Politécnico da Universidade Federal do Paraná, Curitiba
 Fonte: ZANNIN et al. (2012)

Çolakradioğlu et al. (2018) realizaram um mapeamento acústico do Câmpus Universitário de Çukurova, na Turquia. Comparou o ruído gerado pelo tráfego de veículos nos anos de 2010 e 2017 entre si e com os limites definidos pela Diretiva de Ruído Ambiental da União Europeia (2002/49/EC), de 65, 60 e 55 dB(A) para os períodos diurno, vespertino e noturno. O estudo foi motivado pelo crescimento de estruturas, do número de estudantes, acadêmicos e administradores no câmpus durante este período, aumento tal que, como consequência, também elevou o número de veículos privados. O mapeamento ocorreu em alguns passos, a saber: a criação do modelo digital de terreno; a caracterização da fonte de ruído através do fluxo de veículos, velocidade média na via, parâmetros da superfície e dimensões da via; a aferição da altura e proximidade dos edifícios, bem como do tipo de uso do solo e sua cobertura; o cálculo do ruído induzido pelo tráfego; a confecção dos mapas de ruído em grades de 3 m x 3 m e 4 m de altura, assim como em curvas com o mesmo nível de ruído, distando 5 dB(A) entre si; por fim, houve a comparação com os limites já citados. As contagens de veículos leves e pesados se deram em

dias úteis seguidos nos períodos diurno, de 7:00 h a 19:00 h, e vespertino, de 19:00 h a 23:00 h.

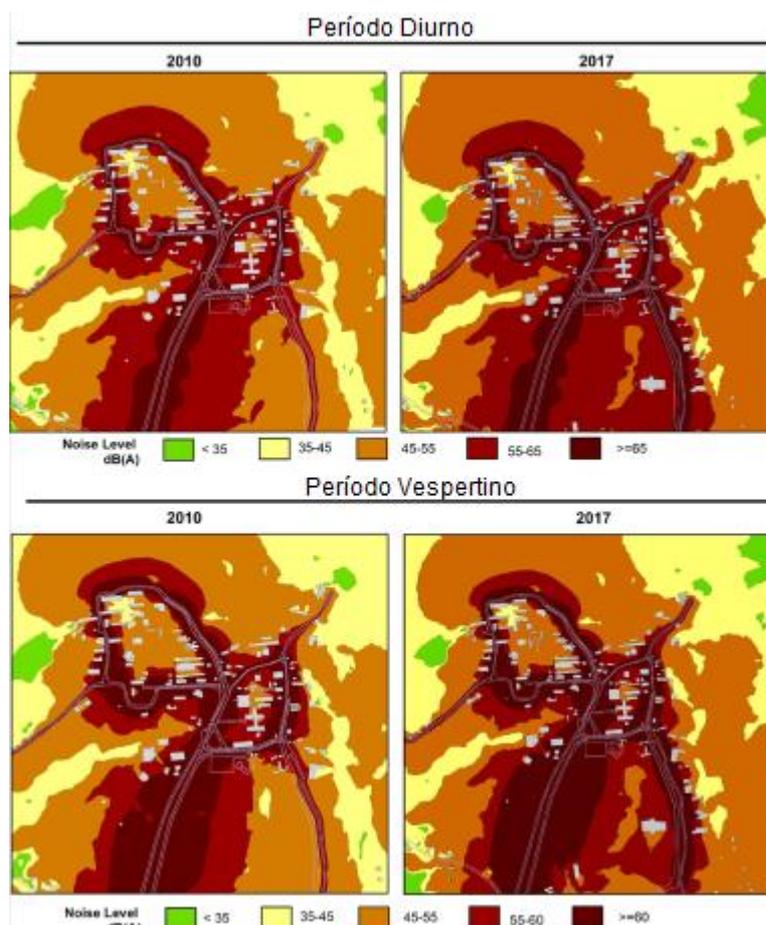


Figura 11 – Mapa de ruído em 2010 e 2017 do Câmpus Universitário de Çukurova, Turquia
Fonte: ÇOLAKKADIOĞLU et al. (2018)

Concluiu que, como esperado, os edifícios mais afetados encontram-se próximo às vias de tráfego, com diferença ínfima entre os níveis de ruído entre os horários aferidos. As construções com fachadas paralelas às ruas são particularmente vulneráveis à poluição sonora. Quase todo o câmpus está sobre a influência níveis de ruído acima de 55 dB(A) e o total de metros quadrados deste que é afetado pelo som indesejado aumentou significativamente entre 2010 e 2017 (Figura 11), assim, demonstra que aproximadamente toda a área da universidade é inadequada acusticamente para o processo de aprendizagem e sugere que os limites estabelecidos são significativamente menores do que os níveis que induzem efeitos deletérios na saúde humana.

Em estudo que produziu um mapa acústico da sede Ecoville da UTPFR, mesmo local de interesse deste trabalho, Ansay (2013) buscou embasamento em

nove pesquisas sobre ruído em campi universitários. Nestes, observou variedade de espaçamento entre pontos de amostragem semelhante à descrita por Nagem (2004), com malhas de 200 m x 200 m, 5 m x 5 m e 1000 m² de área. As faixas de duração dos tempos de medição nos trabalhos foi de 3, 5, 10 e 15 min. Em alguns trabalhos foram escolhidas faixas de horários divididas em manhã, tarde e noite (ex.: 7:00 h a 9:00 h, 17:00 h a 19:00 h e 21:00 h a 23:00 h), períodos maiores que compreendem dias inteiros (ex.: 6:00 h a 22:00 h e 22:00 h a 6:00 h) ou menores, que abrangem apenas uma parte destes (ex.: 13:30 h a 17:30 h). Para sua aferição acústica escolheu 22 pontos, os níveis de pressão sonora foram medidos nos pontos 1 a 19 e a contagem de veículos se deu em todos os pontos exceto em 8, 9 e 15 (Figura 12).

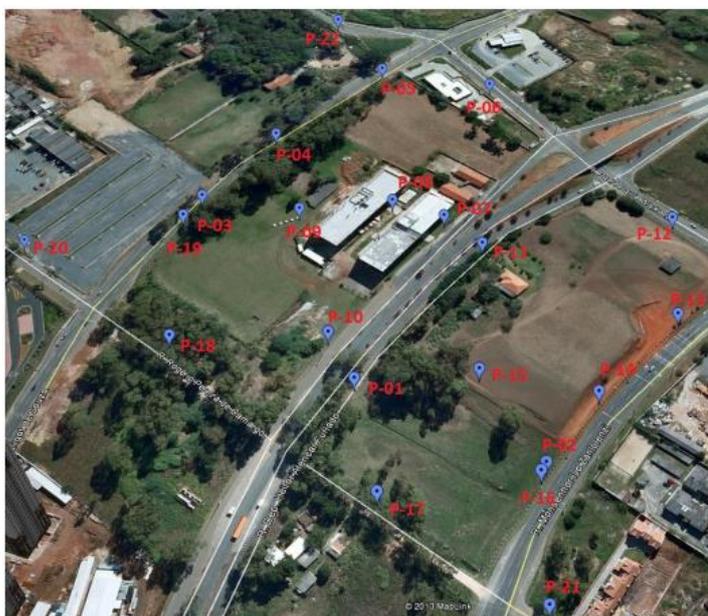


Figura 12 – Indicação dos pontos de medição na sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: ANSAY (2013)

Os descritores utilizados foram nível de pressão sonora contínuo equivalente e os níveis de pressão sonora máximo e mínimo. Estabeleceu que o procedimento foi realizado sem chuva ou vento forte. O tempo de duração das medições escolhido foi de 15 min. Estas se deram no período vespertino, de 12:00 h a 19:00 h, no dia 9 de novembro de 2012, sexta-feira. Descreveu as vias e o tráfego que circundam o câmpus por número de faixas, tipo de asfalto, presença de canteiros ou acostamentos e velocidade média dos veículos (ANSAY, 2013).

No cenário relativo ao ano de 2013, os dados medidos demonstram que todos os pontos estão inadequados segundo a Lei Municipal 10625/2002 (SMMA, 2002). Ademais, considerou, ao comparar níveis obtidos via mapa de ruído gerado por modelo computacional, que haveriam algumas regiões compatíveis com os limites legislativos (ANSAY, 2013).

Além disto, delimitou dois cenários possíveis para o ano de 2018. Em ambos, considerou que todas as edificações estariam concluídas, há um aumento de fluxo de veículos devido à expansão da região e que, como medida mitigadora, a velocidade máxima no entorno do câmpus seria reduzida pela metade. A diferença entre os cenários consiste na modificação das áreas ao redor do câmpus: no segundo edificações são erguidas e o meio alterado, enquanto no primeiro não (ANSAY, 2013).

No cenário dois, a simulação computacional da distribuição do ruído mostra que, mesmo ao considerar a redução na velocidade dos veículos, os níveis de pressão sonora nos edifícios construídos próximos as vias e com fachadas paralelas a elas estão na faixa de 64 a 74 dB(A) (Figura 13). Os edifícios localizados entre as outras estruturas, portanto protegidos por estas, apresentam níveis reduzidos, na faixa de 54 a 66 dB(A). Estes valores resumem o ruído sobre a fachada de todos os edifícios do câmpus, há limites superiores e inferiores diferentes individualmente, principalmente devido à distância das construções até as vias, altura dos pisos e efeitos que as barreiras têm na distribuição do som, porém, os níveis de pressão sonora estão sempre flutuando próximos aos valores destas faixas. Conclui ao afirmar que são poucos os locais que apresentam níveis de ruído abaixo de 55 dB(A), tanto no segundo cenário para o ano de 2018 quanto no do ano de 2013, portanto, a maior parte do câmpus é afetada por níveis que extrapolam os limites estabelecidos pela Lei Municipal 10625/2002 (SMMA, 2002; ANSAY, 2013).

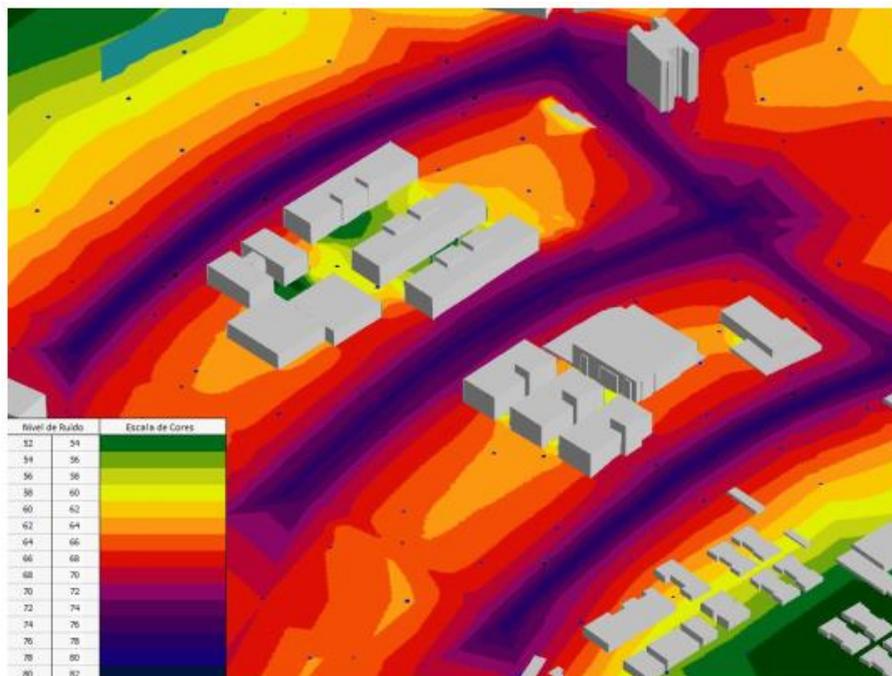


Figura 13 – Mapa de ruído da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: ANSAY (2013)

3 METODOLOGIA

Neste capítulo está caracterizado o local de estudo e haverá uma breve apresentação sobre a Norma Brasileira 10151/00 que define a metodologia a ser utilizada na avaliação do ruído externo em áreas habitadas (ABNT, 2000). Aqui se encontram informações sobre a definição dos pontos de medição de ruído e contagem de veículos, descritores acústicos utilizados, datas e horários selecionados, o equipamento utilizado nas atividades, bem como fontes de dados adicionais.



**Figura 14 – Foto aérea da sede Ecoville
Fonte: UTFPR (2019)**

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná atua em 13 municípios do estado do Paraná, com um total de 32422 alunos matriculados e em torno de 4615 funcionários no ano de 2017. A sede Ecoville do Câmpus Curitiba da UTFPR teve sua construção iniciada em meados do ano 2000 em um contexto de expansão da infra-estrutura da instituição. O local de 59000 m² de terreno e 24500 m² de área construída viu o começo de suas atividades em 28 de fevereiro de 2011. Centro das atividades do Departamento Acadêmico de Construção Civil, do Departamento Acadêmico de Química e Biologia e do Departamento Acadêmico de Mecânica, é de

grande importância para vários dos cursos ministrados pela universidade (UTFPR, 2018; UTFPR, 2019a; UTFPR, 2019b).

Onze edifícios, nomeados conforme a Figura 15, compõem a estrutura da sede, divididos em duas áreas separadas pela Rua Deputado Heitor Alencar Furtado. O câmpus é circundado pelas vias R. Rogério Pereira de Camargo, R. Angelo Nabosne, R. Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza e Av. Monsenhor Ivo Zanlorenzi.

A Rua Deputado Heitor Alencar Furtado apresenta duas faixas de rodagem destinadas ao tráfego de veículos particulares e mais duas exclusivas para os ônibus do transporte público, todas com velocidade máxima permitida de 40 km/h. A via Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza têm fluxo de veículos na direção centro/bairro e a Av. Monsenhor Ivo Zanlorenzi na direção bairro/centro, ambas apresentam velocidade máxima permitida de 60 km/h e quatro faixas de rolamento. A Rua Angelo Nabosne consiste em duas faixas de rodagem de sentidos opostos de 40 km/h. A Rua Rogério Pereira de Camargo não tem asfalto, é seccionada pela via central, R. Deputado Heitor Alencar Furtado, e tem limite de 40 km/h.



Figura 15 – Mapa da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: Autoria própria

3.2 LIMITES PARA O RUÍDO EXTERNO EM ÁREAS ESCOLARES

Para nortear a análise foram selecionadas três referências de limites aceitáveis para o nível de ruído externo em escolas, além dos limites ocupacionais. Os valores escolhidos são estipulados pela Organização Mundial da Saúde (OMS), Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e legislação da cidade de Curitiba que dispõe sobre ruídos urbanos (BERGLUND et al., 1999; ABNT, 2000; SMMA, 2002).

A OMS cita como efeitos críticos do ruído em âmbito escolar a interferência na fala, comunicação, dificuldade na absorção de informações bem como irritação. Define como limite o nível de pressão sonora equivalente de 55 dB (A) para o ruído externo (BERGLUND et al., 1999).

A ABNT estipula o Nível de Critério de Avaliação (NCA) de 50 dB (A) para o período diurno e 45 dB (A) para o período noturno através da NBR 10151/00 Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. De acordo com a metodologia descrita, o NCA deve ser comparado ao nível de pressão sonora contínuo equivalente medido no local. Os períodos diurno e noturno são parcialmente flexíveis, pois podem ser escolhidos pelas autoridades locais estabelecidos certos limites – o período noturno deve ser, no mínimo, das 22 horas às 7 horas, com exceção de domingos e feriados, onde o intervalo mínimo é das 22 horas às 9 horas (ABNT, 2000).

A cidade de Curitiba possui legislação própria sobre o assunto. A lei 10625 de 19 de dezembro de 2002 dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público. Ela estabelece limites de nível de pressão sonora com base no Zoneamento Consolidado da cidade de Curitiba, Lei nº 9800 de 03 de janeiro de 2000. A sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná encontra-se na zona SE-NC (Setor Especial Nova Curitiba), porém, por se tratar de instituição educacional, devem ser atendidos os limites estabelecidos para ZR-1 (Zona Residencial um) e a zona de silêncio, estabelecida como um raio de 200 metros de distância. Para esta região são definidos os limites de 55 dB (A) para o período diurno (das 07:01 h às 19:00 h), 50 dB (A) para o período vespertino (das 19:01 h às 22:00 h) e 45 dB (A) para o período noturno (das 22:01 h às 7:00 h) (PMC, 2000; SMMA, 2002).

3.2.1 Limites para o Ruído Ocupacional

O ruído é pontuado em algumas das Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego. A NR 9 (Programa de Prevenção de Riscos Ambientais) define o Nível de Ação (NA) que, ao ser ultrapassado, obriga o início de ações preventivas que tem como objetivo evitar que a exposição a agentes ambientais ultrapassem os limites de exposição. No caso do ruído, o NA é de 80 dB(A). Já a NR 15 (Atividades e Operações Insalubres) define o Limite de Tolerância (LT) para o ruído, que indica intensidade máxima relacionada com o tempo de exposição que não causa danos à saúde do trabalhador. No caso do ruído, o LT é de 85 dB(A) para uma exposição diária de 8 horas (BRASIL, 2019). Idealmente, este valor deve ser medido através de uma dosimetria de ruído ao longo da jornada de trabalho, no entanto este texto busca quantificar o ruído de tráfego medido no ambiente, portanto o limite será comparado ao L_{Aeq} encontrado.

Ainda, a NR 17 (Ergonomia) recomenda que se utilizem os parâmetros para locais de trabalho que requerem concentração presentes na NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico. Esta assinala o intervalo de 40 a 50 dB(A) para salas de aula e laboratórios. É importante compreender que a NBR 10152 tem referências para ruídos em ambientes internos, o que não compete a este documento. Assim, é utilizada ilustrativamente a fim de contemplar o valor elencado pela NR 17 na análise da qualidade acústica do ambiente da universidade (BRASIL, 2019).

Com base na revisão apresentada, os valores encontrados *in loco* serão comparados aos da Tabela 1.

Tabela 1 – Limites para o ruído utilizados neste trabalho

	DIURNO	VESPERTINO	NOTURNO
OMS	55 dB(A)		
NR 17	40 - 50 dB (A)		
NBR 10151	50 dB(A)		45 dB(A)
LEI MUNICIPAL 10625/02	55 dB(A)	50 dB(A)	45 dB(A)
NR 15	85 dB (A)		

Fonte: Autoria própria

3.3 NORMA ABNT NBR 10151/00 – AVALIAÇÃO DO RUÍDO EM ÁREAS HABITADAS, VISANDO O CONFORTO DA COMUNIDADE

Esta norma define parâmetros para a avaliação da aceitabilidade do ruído em comunidades a partir da comparação deste com limites definidos, bem como caracteriza um método para a medição deste com base no nível de pressão sonora contínua equivalente (ABNT, 2000). Os critérios indicados para a medição são em termos gerais:

- Medição do nível de pressão sonora equivalente em decibéis ponderados em “A”;
- A verificação e ajuste do medidor de nível de pressão sonora antes e após cada medição;
- Não devem ser efetuadas medições enquanto ocorrem interferências advindas de fenômenos naturais, como chuvas fortes, raios, etc.;
- A influência do vento deve ser atenuada com a utilização de protetor, relativo ao sonômetro em questão;
- O tempo de medição selecionado deve permitir a caracterização do ruído;
- Uma amostra única ou uma sequência delas podem ser utilizadas;
- As medições devem ser realizadas a 1,2 m do piso e a 2 m de obstáculos, como muros, paredes, grades, entre outros;
- Ruídos com características especiais (tonais ou impulsivos) devem ser corrigidos segundo a norma e, no caso de não o serem, o nível de pressão sonora equivalente é utilizado.

3.4 PONTOS DE MEDIÇÃO E CONTAGEM DE VEÍCULOS

Com base na revisão bibliográfica foram escolhidos 23 pontos (Figura 16) divididos igualmente entre os dois terrenos, 19 distribuídos ao longo do perímetro da sede e 4 internos (11, 12, 22 e 23). As medições duraram 10 minutos e respeitaram-se as distâncias mínimas de qualquer obstáculo e do solo definidas pela NBR 10151/00. Os descritores L_{Aeq} , L_{max} e L_{min} foram tabelados.

Em cada ponto, a contagem de veículos foi realizada durante o mesmo período da medição do ruído e considerou a direção, sentido e tipo dos veículos. Estes foram classificados em veículos leves (veículos de passeio e utilitários em geral), pesados (ônibus e caminhões) e motocicletas. Esta atividade foi cumprida por apenas um indivíduo, portanto alguma incerteza é esperada na estimativa do fluxo de veículos, principalmente em cruzamentos (pontos 1, 6 e 20).



Figura 16 – Pontos de medição de ruído e contagem de veículos
Fonte: Autoria própria

As coordenadas dos pontos foram obtidas pelo aplicativo *GeoTracker* e posteriormente transferidas para o programa de sistema de informação geográfica *QGIS* a fim de criar um mapa que os contemple.

No dia 21/11/18 as aferições foram feitas nos arredores do terreno entre as ruas Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza e Deputado Heitor Alencar Furtado – pontos 1 a 12. Da mesma forma, no dia 28/11/18 as aferições foram feitas nos arredores do terreno entre a Av. Monsenhor Ivo Zanlorenzi e Rua Deputado Heitor

Alencar Furtado – pontos 13 a 23. Estes conjuntos de pontos foram visitados três vezes, com início do ciclo as 7:30 h, 12:01 h e 19:01 h a fim de caracterizar o ruído e o tráfego de veículos nos períodos diurno, vespertino e noturno.

3.5 DADOS ADICIONAIS, EQUIPAMENTO E MODELO UTILIZADO

O *software* utilizado para modelar o ruído foi o *SoundPLAN 7.4*. O modelo de propagação de ruído requer dados adicionais relativos às dimensões do local – topografia, altura de edifícios, dimensões das vias e obstáculos, os quais foram cedidos pelo Departamento Acadêmico de Construção Civil (DACOC) da UTFPR. Dados relativos à temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa no dia das medições foram obtidos através da Rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019).

Foi utilizado o medidor de nível sonoro *Instrutherm DEC 5010*. O aparelho possuía protetor contra a influência do vento e possuía opções de seleção para os parâmetros de resposta “lenta” e ponderação na curva “A”, os quais foram definidos e utilizados em todas as medições.

4 RESULTADOS

Como descrito anteriormente, os pontos demonstrados na Figura 16 foram escolhidos para a aferição do ruído e para a contagem de veículos. Os valores encontrados para cada ponto estão descritos e contrastados aos limites estabelecidos para áreas destinadas a atividades acadêmicas nas Figuras 17 a 23. Os limites descritos nos gráficos são os definidos pela Organização Mundial da Saúde, Lei 10625 da cidade de Curitiba, Norma Brasileira 10151/00 e Norma Regulamentadora 17 do Ministério do Trabalho e Emprego, respectivamente denotados nas legendas como OMS, Lei 10625, NBR10151 e NR17.

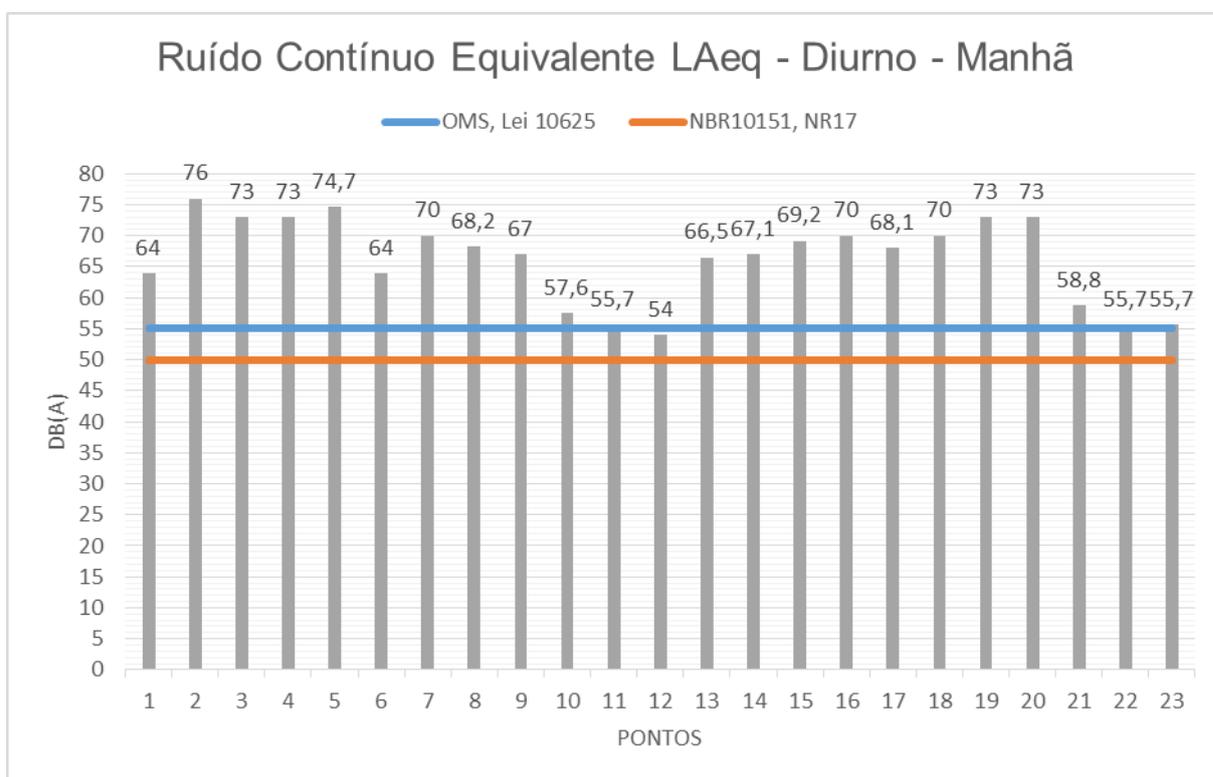


Figura 17– Ruído Contínuo Equivalente L_{Aeq} para o período Diurno - Manhã
Fonte: Autoria própria

Os valores obtidos de 7:30 h até por volta de 10:41 h, período matutino (Diurno-Manhã), estão representados na Figura 17. Todos os pontos externos à universidade excedem 55 dB(A), limite menos restritivo definido pela OMS e Lei 10625. Dos pontos internos (vide 11, 12, 22 e 23) apenas o 12 apresenta 54 dB(A) que, não obstante, está acima do limite recomendado pela NBR 10151/00 e NR 17. Nenhum dos pontos apresenta nível contínuo equivalente acima de 85 dB(A)

estabelecido pela NR 15. O L_{Aeq} máximo encontrado é 76 dB(A) no ponto 2, o mínimo é 54 dB(A) no ponto 12 e a média é 66,27 dB(A). Na Figura 18 encontram-se os níveis L_{max} e L_{min} encontrados por ponto para o período Diurno-Manhã.

Ao considerar os valores encontrados no período matutino não devem existir efeitos deletérios sobre a saúde dos trabalhadores expostos ao utilizar o estipulado pela NR 15 do MTE (BRASIL, 2019). No entanto, os níveis de ruído contínuo equivalente encontrados são mais do que suficientes para interferir negativamente na transferência de conhecimento. Agrava-se tal afirmação ao refletir sobre os pontos internos (pontos 11, 12, 22 e 23), os quais apresentam níveis de ruído amenos, porém muito próximos aos limites estabelecidos pela OMS e cidade de Curitiba. O gráfico de níveis máximos e mínimos deste período (Figura 18) exhibe valores mínimos que tangenciam os limites, ao passo que os máximos os ultrapassam por muito, vide o ponto 2 com máximo de 91,3 dB(A). Assim, é possível inferir que, para este período, dificilmente os limites são respeitados de qualquer modo.

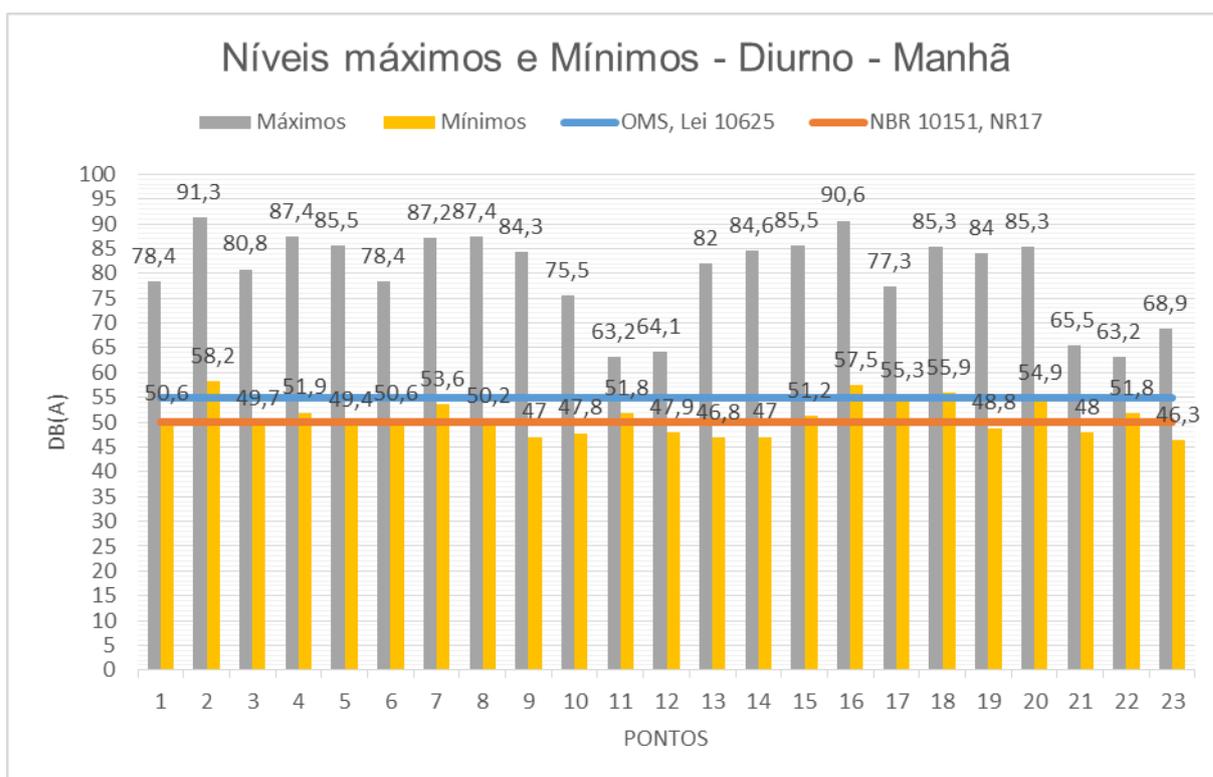


Figura 18 – Níveis máximos e mínimos para o período Diurno-Manhã
Fonte: Autoria própria

Os valores obtidos de 12:01 h até por volta de 14:47 h, período da tarde (Diurno-Tarde), estão representados na Figura 19. Assim como no período matutino,

todos os pontos externos à universidade excedem o valor de 55 dB(A) definido pela OMS e Lei 10625. Dos pontos internos (vide 11, 12, 22 e 23), 12 e 22 apresentam 54,6 e 54,5 dB(A) que, de forma semelhante aos valores encontrados pela manhã, estão acima do limite recomendado pela NBR 10151/00 e NR 17. O ponto 23, apesar de estar dentro do terreno, apresenta um nível de 60,8 dB(A), que pode ser explicado pela atividade de reformas em salas de aula que ocorreram durante a aferição. Nenhum dos pontos apresenta nível contínuo equivalente acima de 85 dB(A) estabelecido pela NR 15. O L_{Aeq} máximo encontrado é 73 dB(A) nos pontos 5 e 20, o mínimo é 54,5 dB(A) no ponto 22 e a média é 65,67 dB(A). Na Figura 20 estão os níveis L_{max} e L_{min} por ponto para o período Diurno-Tarde.

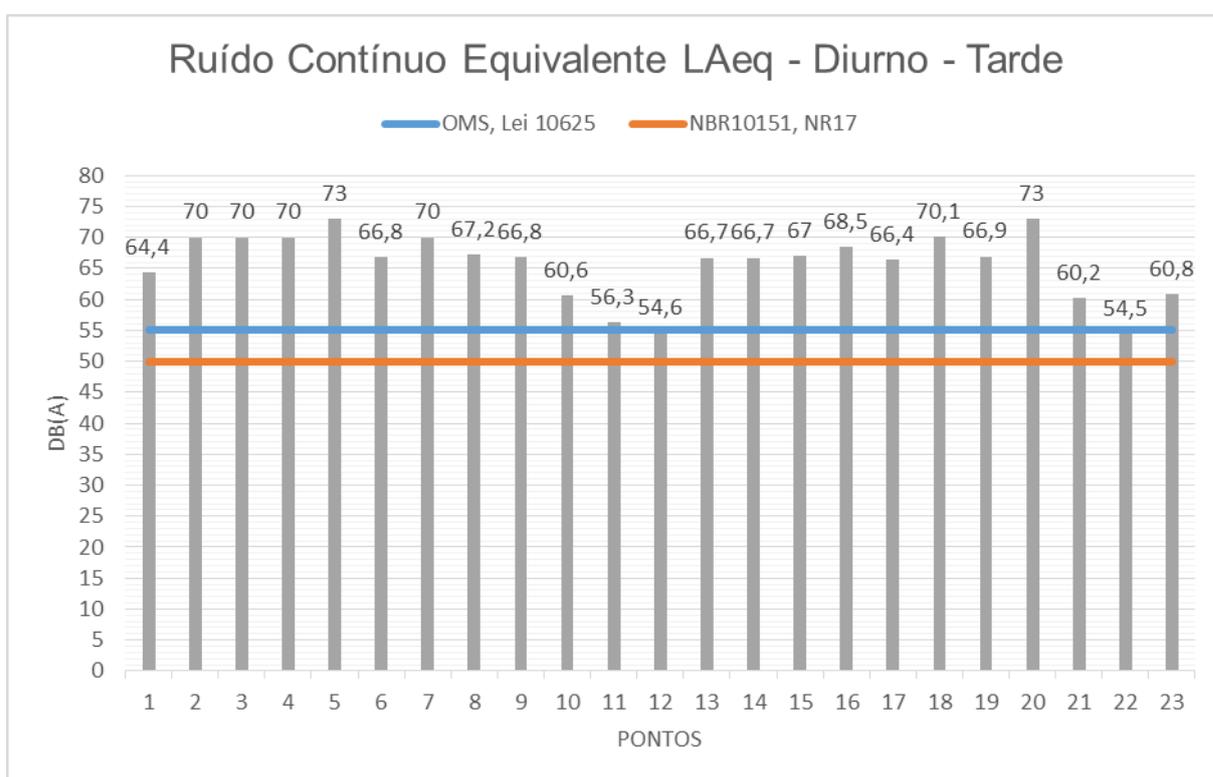


Figura 19 – Ruído Contínuo Equivalente L_{Aeq} para o período Diurno - Tarde
 Fonte: Autoria própria

Novamente, são observados níveis de ruído contínuo equivalente abaixo do definido para insalubridade, considera-se que não há efeitos sobre a saúde dos trabalhadores. Também é esperado que os níveis prejudiquem o aprendizado e a pesquisa, uma vez que apenas se aproximam do limite de 55 dB(A) quando se consideram os pontos internos (pontos 11, 12, 22 e 23). Tal qual o período matutino, o gráfico de níveis máximos e mínimos deste período (Figura 20) exibe valores mínimos próximos dos limites e máximos bastante elevados.

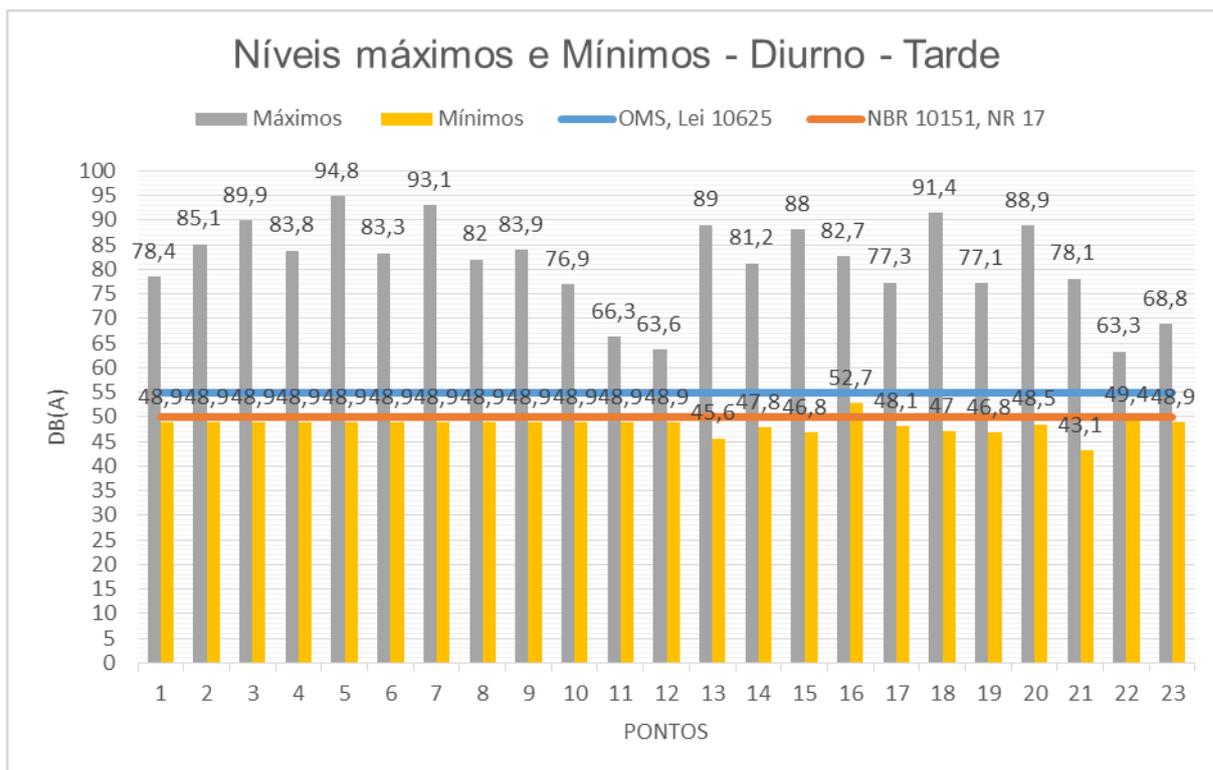


Figura 20 – Níveis máximos e mínimos para o período Diurno-Tarde
Fonte: Autoria própria

Por último, os valores obtidos de 19:01 h até por volta de 21:38 h, período vespertino, estão representados na Figura 21. Assim como nos demais períodos, todos os pontos externos à universidade excedem o valor de 55 dB(A) definido pela OMS. A totalidade dos pontos internos (vide 11, 12, 22 e 23) apresenta níveis abaixo do recomendado pela OMS, porém acima do nível de 50 dB(A) recomendado pela NBR 10151/00 e NR17. Todos os pontos ultrapassam o limite diferenciado de 50 dB(A) definido para o período vespertino (19:01 h até 22:00 h) exigido pela Lei 10625 da cidade de Curitiba. Nenhum dos pontos apresenta nível contínuo equivalente acima de 85 dB(A) estabelecido pela NR 15. O L_{Aeq} máximo encontrado é 70 dB(A) nos pontos 2 a 5, o mínimo é 50,2 dB(A) no ponto 22 e a média é 64,67 dB(A). Na Figura 22 estão os níveis L_{max} e L_{min} por ponto para o período Vespertino.

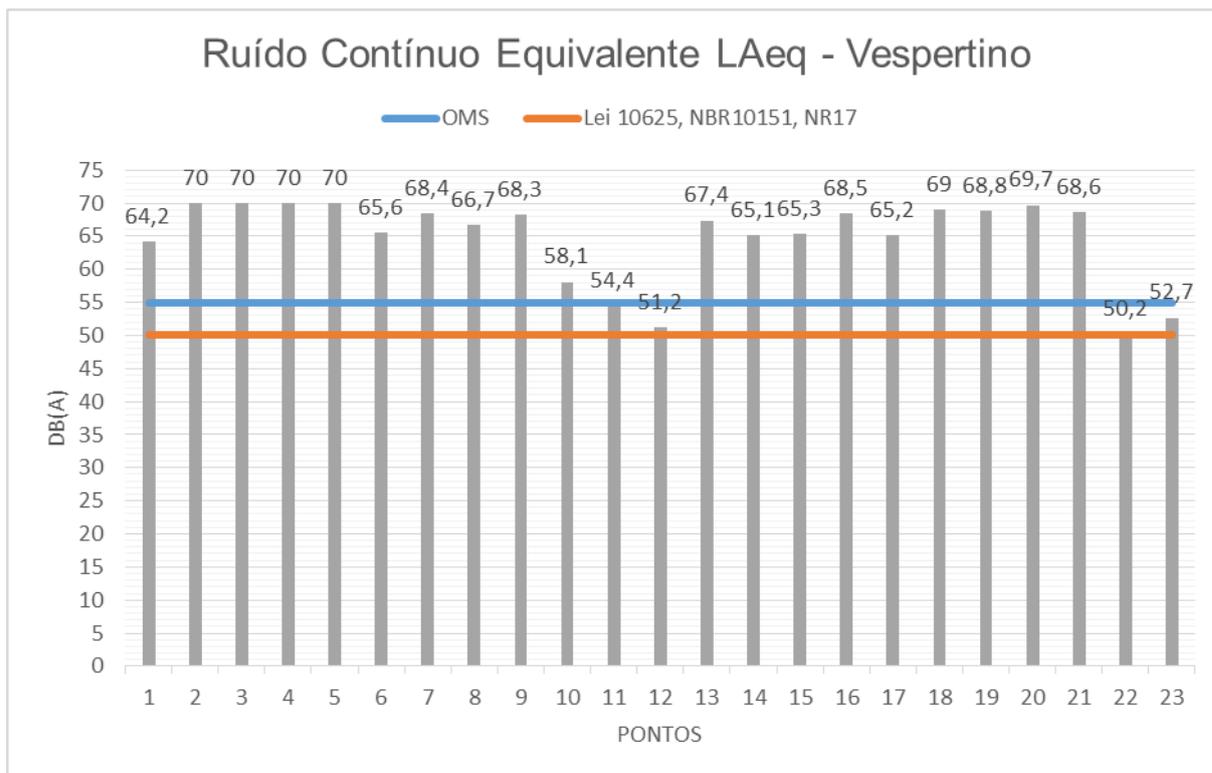


Figura 21 – Ruído Contínuo Equivalente LAeq para o período Vespertino
Fonte: Autoria própria

Mais uma vez, os níveis de ruído contínuo equivalente estão abaixo do limite trabalhista definido pela NR 15, assim, a saúde dos trabalhadores é considerada intacta segundo as normas regulamentadoras. Como nos outros períodos, a atividade acadêmica deve ser prejudicada, afinal, os pontos internos (pontos 11, 12, 22 e 23) encontram-se acima do estipulado por todos os limites exceto o definido pela OMS. Repetidamente, o gráfico de níveis máximos e mínimos deste período (Figura 22) exhibe valores mínimos próximos dos limites e máximos bastante elevados.

Os 19 pontos externos ultrapassam todos os limites comparados durante os três períodos verificados, com exceção do limite de 85 dB(A) estabelecido pela NR 15. Por vezes os 4 pontos internos (vide 11, 12, 22 e 23) apresentam conformidade quanto ao limite de 55 dB(A) recomendado pela OMS, não obstante, estão inadequados perante a NBR 10151/00 e NR 17. O período matutino (Figura 17) apresentou os maiores valores de LAeq máximo e médio, com 76 dB(A) e 66,27 dB(A) respectivamente.

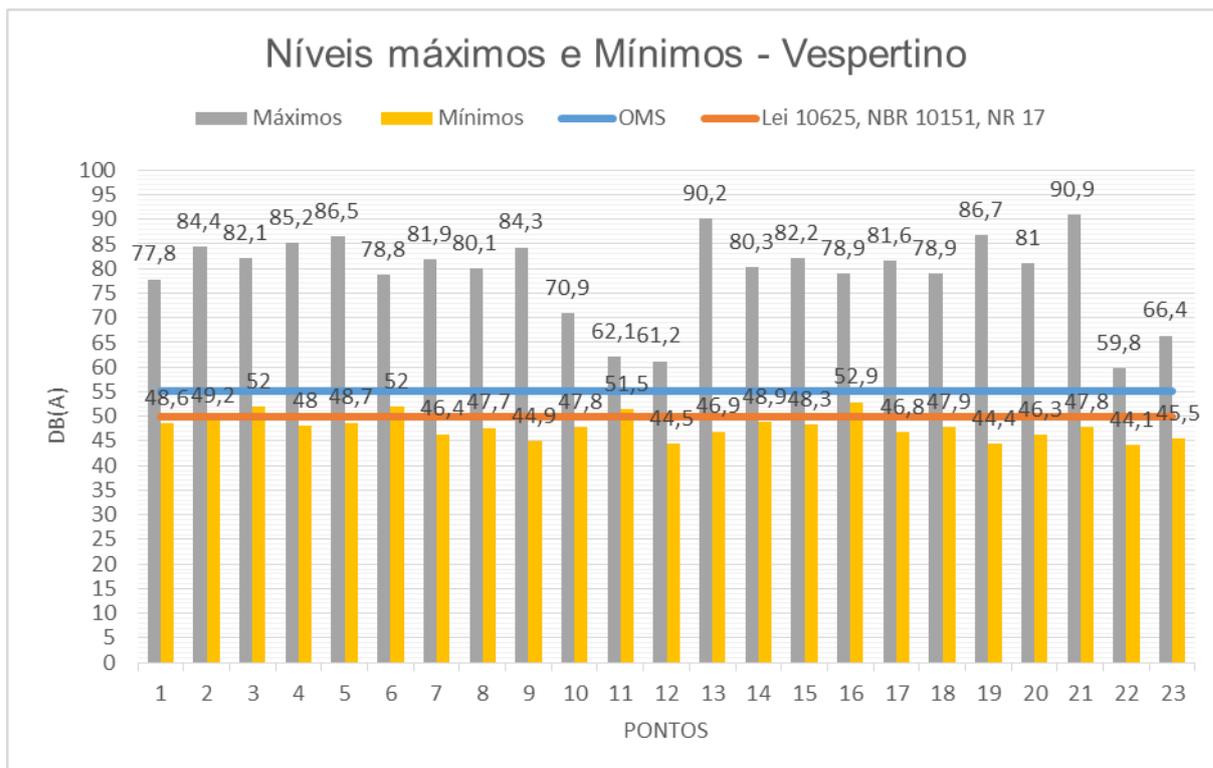


Figura 22 – Níveis máximos e mínimos para o período Diurno-Tarde
Fonte: Autoria própria

Ao resumir os dados através do cálculo das médias dos valores (manhã-diurno, manhã-tarde e vespertino) por ponto é possível observar (Figura 23) que todos os valores ultrapassam o limite mais restritivo de 50 dB(A). Os pontos 2 a 5 e 20 ultrapassaram 70 dB(A), afinal, estão posicionados nas duas vias principais que circundam o câmpus (Figura 16), Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza e Av. Monsenhor Ivo Zanlorenzi. Os pontos 8, 9, 13 e 14, localizados na via central, Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, apresentam níveis acima de 66 dB(A).

O resultado do processamento de dados pode ser observado na Figura 25, que representa o mapa de ruído da sede Ecoville. A imagem apresenta isolinhas decrescentes de nível de ruído que se propagam a partir das vias de tráfego. Pode-se observar os pontos verificados, bem como os edifícios da universidade e vizinhos a ela. A Rua Professor Viriato Parigot de Souza parece apresentar níveis de ruído mais elevados do que as demais vias. Apesar de não ser possível explicar esta característica no momento, acredita-se que sejam necessárias mais aferições para caracterizar o ruído de tráfego da região, o que não foi possível no contexto deste trabalho acadêmico.

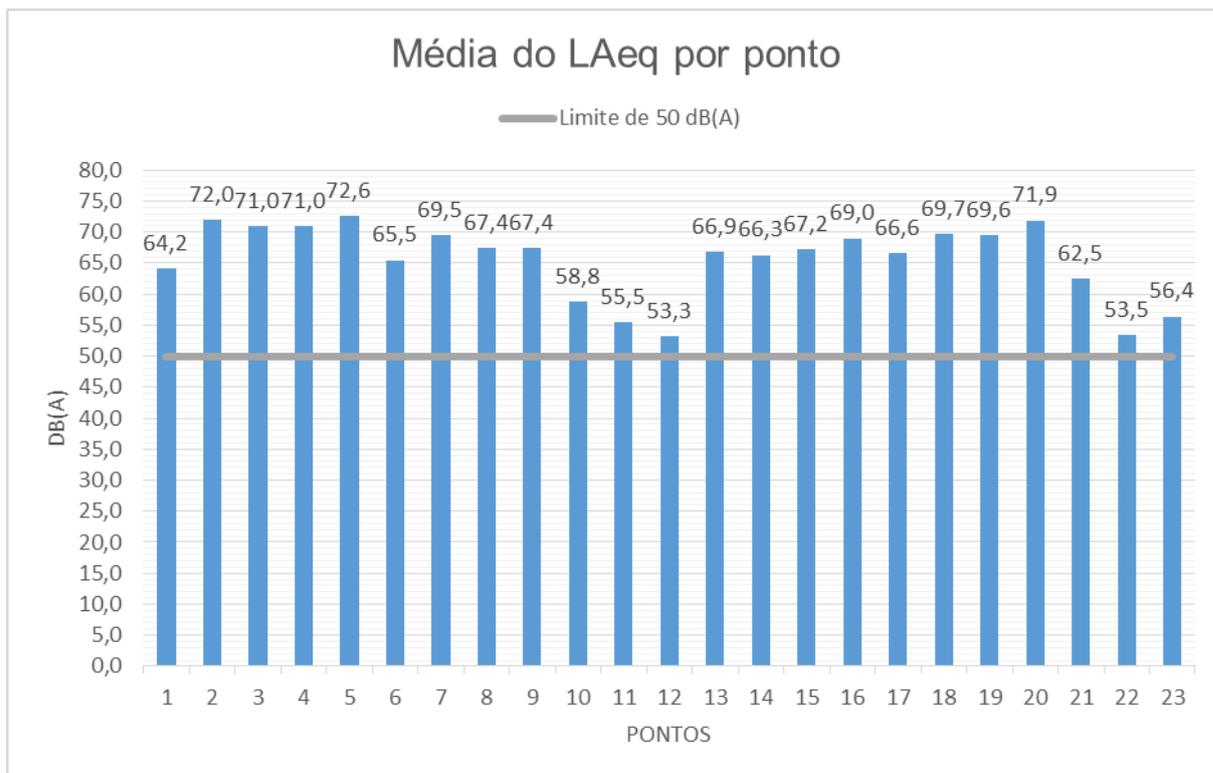


Figura 23 – Média do Nível Contínuo Equivalente L_{Aeq} por ponto
Fonte: Autoria própria

A Figura 15, relativa aos nomes das vias e edifícios, será repetida a seguir por comodidade.



Figura 24 – Mapa da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: Autoria própria

As fachadas dos edifícios rentes à Rua Professor Viriato Parigot de Souza recebem níveis de ruído na faixa de 64 a 67 dB(A). As fachadas dos edifícios rentes à Rua Deputado Heitor Alencar Furtado sentido nordeste-sul recebem entre 67 e 70 dB(A), com exceção dos edifícios I e J (Figura 24), que por estarem mais distantes, são submetidos à níveis entre 61 e 64 dB(A). As fachadas dos edifícios rentes à Rua Deputado Heitor Alencar Furtado sentido sul-nordeste recebem entre 64 e 67 dB(A). As fachadas dos edifícios rentes à Av. Monsenhor Ivo Zanlorenzi estão submetidas as faixas de 64 a 67 dB(A) (edifício N) e 58 a 61 dB(A) (edifício K).

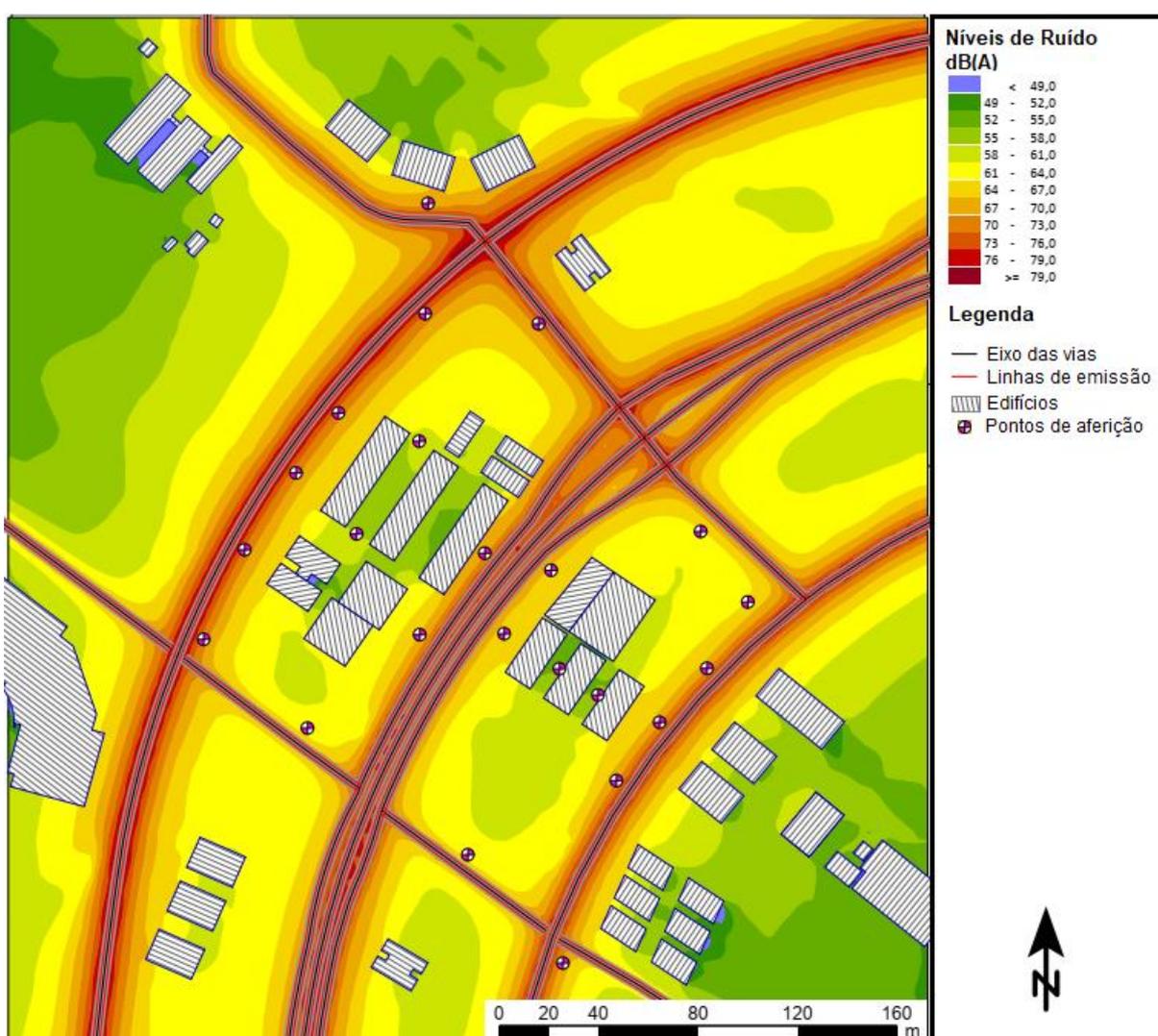


Figura 25 – Mapa de Ruído da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Fonte: Autoria própria

Os menores níveis encontrados dentro os edifícios estão geralmente na faixa de 52 a 61 d(A), excetuando-se os níveis observados abaixo de 49 dB(A) entre os edifícios E e F bem como entre os edifícios K, L e M. Estes locais parecem

protegidos de toda a perturbação gerada pelo ruído de tráfego, no entanto, nenhuma aferição pontual foi realizada nestes para confirmar o modelo e, entre os prédios K, L, M, existe uma lanchonete bastante frequentada pelos estudantes. Desta forma, entende-se que nenhum local desta sede está completamente adequado quando são considerados os limites e recomendações definidos pela OMS, cidade de Curitiba, NR 17 e NBR 10151/00, assim, sugere-se que a qualidade acústica mínima requerida para as atividades acadêmicas na sede está aquém do necessário.

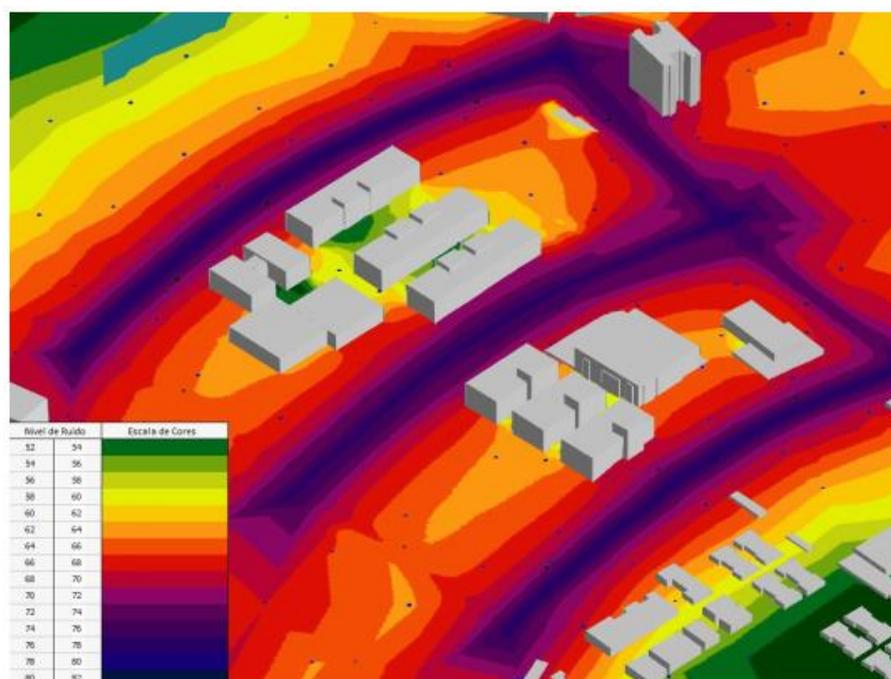


Figura 26 – Mapa de ruído da sede Ecoville da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba
Fonte: ANSAY (2013)

No cenário descrito por Ansay (2013) para o ano de 2013, os níveis de ruído que afetam as fachadas dos edifícios A, C, E, F e N apresentados são da faixa de 68 a 72 dB(A) (Figura 26). Neste trabalho, A recebe entre 67 e 70 dB(A) e os demais entre 64 e 67 dB(A). Assim, não parece ter havido evolução ou devolução significativa nos níveis de ruído de tráfego da região, mas sim a manutenção destes em patamares mais elevados do que os recomendados.

5 CONCLUSÃO

A partir da análise dos dados obtidos fica claro que a sede Ecoville do câmpus Curitiba da Universidade Tecnológica Federal do Paraná está sobre constante influência do ruído gerado pelo tráfego de veículos, o qual encontra-se, na maioria das situações verificadas, acima dos limites recomendados pela Organização Mundial de Saúde, pela Lei Municipal 10625/02 da cidade de Curitiba, pela Norma Brasileira 10151/00 e pela Norma Regulamentadora 17 do MTE. O resultado obtido era esperado devido às vias de grande fluxo de veículos e foi corroborado. Por um lado, os níveis não parecem ter sido amplificados com o tempo, no entanto, cabe à universidade e à cidade planejar soluções alternativas para melhorar a qualidade acústica do meio.

Ainda, os níveis de ruído contínuos equivalentes observados não alcançaram o limite de 85 dB(A) estabelecido pela Norma Regulamentadora 15, que trata de atividades e operações insalubres, ou ainda o limite que caracteriza o nível de ação de 80 dB(A), definido pela Norma Regulamentadora 9, que trata do programa de prevenção de riscos ambientais. Apesar da metodologia empregada não ser ideal para este tipo de aferição – pois, segundo a NR 15 “as leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador” e ao longo da jornada de trabalho – os resultados são um indicativo de que o ruído não caracteriza o exercício do trabalho na universidade como insalubre. Desta forma entende-se que, segundo as NRs do MTE, a intensidade do agente ruído não deve causar danos à saúde do trabalhador

Este trabalho apresentou limitações como a medição do ruído de tráfego de veículos em apenas dois dias e por poucos indivíduos, não considerou a percepção da comunidade acadêmica aos efeitos da poluição sonora e tão pouco os níveis de ruído internos às salas de aula, biblioteca e gabinetes de professores. Desta forma, como recomendações para trabalhos futuros indica-se o estudo de meios de redução do impacto do ruído, análises que considerem períodos de tempo maiores, a verificação de níveis de ruído internos e posterior comparação com os limites recomendados bem como a análise da resposta e percepção da comunidade acadêmica ao ruído.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, F. C. **Elaboração de Um Mapa Acústico para a Região Central da Cidade de Curitiba e Principais Vias de Acesso ao Centro da Cidade**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

ANSAY, S. S. **Estudo da Poluição Sonora Através do Mapa de Ruído na Implantação do Novo Campus Universitário da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR**. 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

ABNT, 2000. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ABNT, 1987. **NBR 10152**: Níveis de Ruído Para Conforto Acústico. Rio de Janeiro, 1987.

BABISCH, W., BEULE, B., SCHUST, M., KERSTEN, N., ISING, H. Traffic noise and risk of myocardial infarction. **Epidemiology**, v. 16(1), p. 33–40, 2005.

BASNER, M., BABISCH, W., DAVIS, A., BRINK, M., CLARK, C., JANSSEN, S., STANSFELD, S. Auditory and non-auditory effects of noise on health. **The Lancet**, v. 383, p. 1325–1332, 2014.

BELOJEVIC, G., JACOVLEVIC, B., ALESKSC, O. Subjective Reaction for Traffic Noise with Regard to some Personality Traits. **Environmental International**, v. 23, p. 221-226, 1997.

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

BERGLUND, B; LINDVALL, T; SCHWELA, D. H; WORLD HEALTH ORGANIZATION. OCCUPATIONAL AND ENVIRONMENTAL HEALTH TEAM. **Guidelines for community noise**. Geneva, World Health Organization, 1999.

BERISTÁIN, S. EL RUIDO ES UM SERIO CONTAMINANTE. In: I CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACUSTICA. 1998, Florianópolis.

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

BLUHM, G. L., BERGLIND, N., NORDLING, E., ROSENLUND, M. Road traffic noise and hypertension. **Occupational & Environmental Medicine**, v. 64, p. 122–126, 2007.

BLUHM, G; NORDLING, E; BERGLIND, N. Road traffic noise and annoyance - An increasing environmental health problem. **Noise & health**. v. 6,p. 43-49, 2004.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Escola Nacional da Inspeção do Trabalho. Saúde e Segurança do Trabalho – Normas Regulamentadoras - Português. 2019. Disponível em: <<https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/sst-menu/sst-normatizacao/sst-nr-portugues?view=default>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

BRUEL & KJAER. **Environmental Noise**. Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S. Denmark, 2001.

ÇOLAKKADIOĞLU, D., YÜCEL, M., KAHVECI, B., AYDINOL, Ö. Determination of noise pollution on university campuses: a case study at Çukurova University Campus in Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 190, 2018.

GAZETA DO POVO. Número de carros em Curitiba diminui pela primeira vez em uma década. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/numero-de-carros-em-curitiba-diminui-pela-primeira-vez-em-uma-decada-7js0eet0fyvsuowh74i244e1k>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

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

GOSWAMI, S., NAYAK, S. K., PRADHAN, A. C., DEY, S. K. A study on traffic noise of two campuses of university, Balasore, India. **Journal of Environmental Biology**, v. 32, p. 105–109, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). Dados Históricos. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 1996-1: Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 1: Basic quantities and assessment procedures**. Second edition. Switzerland, Geneva, 2003.

LA TORRE, G., MOSCATO, U., LA TORRE, F., BALLINI, P., MARCHI, S., RICCIARDI, W. Environmental noise exposure and population health: a cross-sectional study in the province of Rome. **Journal of Public Health**, v. 15, p. 339–344, 2007.

LANDIM, P. M. B., MONTEIRO, R. C., CORSI, A. C. Introdução à confecção de mapas pelo software Surfer®. Geomatemática, Texto Didático 8, DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, 2002. Disponível em: <http://www.ufpa.br/larhima/Material_Didatico/Mapas_e_Modelos/Surfer8/Surfer.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2018.

MOUDON, A. V. Real noise from the urban environment: how ambient community noise affects health and what can be done about it. **American Journal of Preventive Medicine**, v. 37(2), p. 167–171, 2009.

NAGEM, M. P. **Mapeamento e análise do ruído ambiental: diretrizes e metodologia**. 2004. 133 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2004.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA (PMC). **LEI Nº 9800**. “Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo no Município de Curitiba e dá outras providências”. Curitiba, 2000.

SCHADE, W. Transport Noise: a challenge for sustainable mobility. **International Social Science Journal – Sustainable Mobility, Unesco**, v. 176, p. 278-294, jun. 2003.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE (SMMA). PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. **LEI Nº 10625**. “Dispõe sobre ruídos urbanos, proteção do bem estar e do sossego público [...]”. Curitiba, 2002.

SONG, Y., GEE, C. G., FAN, Y., TAKEUCHI, D. T. Do physical neighborhood characteristics matter in predicting traffic stress and health outcomes? **Transportation Research F: Traffic Psychology and Behaviour**, v. 10, p. 164-176, 2007.

TZIVIAN, L., JOKISCH, M., WINKLER, A., WEIMAR, C., HENNIG, F., SUGIRI, D., SOPPA, V. J., DRAGANO, N., ERBEL, R., JÖCKEL, K., MOEBUS, S., HOFFMANN, B. Associations of long term exposure to air pollution and road traffic noise with cognitive function—an analysis of effect measure modification. **Environmental International**, v. 10, p. 30–38, 2017.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR). Inauguração da sede Ecoville do câmpus Curitiba acontece no dia 20. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/inauguracao-da-sede-ecoville-do-campus-curitiba-acontece-no-dia-20>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR). **Relatório de Gestão – Exercício de 2017**. Curitiba, 2018.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR, 2019a). Sede Ecoville do Câmpus Curitiba completa 5 anos. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/sede-ecoville-do-campus-curitiba-completa-cinco-anos>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ (UTFPR, 2019b). Sede Ecoville do Câmpus Curitiba. Disponível em: <<http://www.utfpr.edu.br/curitiba/estrutura-universitaria/assessorias/ascom/noticias/acervo/inauguracao-da-sede-ecoville-do-campus-curitiba-acontece-no-dia-20>>. Acesso em: 03 abr. 2019.

VIENNEAU, D., SCHINDLER, C., PEREZ, L., PROBST-HENSCH, N., RÖÖSLI, M. The relationship between transportation noise exposure and ischemic heart disease: a meta-analysis. **Environmental Research**, v. 138, p. 372–380, 2015.

WHO REGIONAL OFFICE FOR EUROPE. **Burden of Disease from Environmental Noise**: Quantification of healthy life years lost in Europe. Denmark, Copenhagen, 2011.

ZANNIN, P. H. T., CALIXTO, A., DINIZ, F., FERREIRA, J. A. C. Incômodo Causado pelo Ruído Urbano à População de Curitiba, PR. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, p. 521-524, 2002.

ZANNIN, P. H. T., ENGEL, M. S., FIEDLER, P. E. K., BUNN, F. Characterization of Environmental Noise Based on Noise Measurements, Noise Mapping and Interviews: A case study at a university câmpus in Brazil. **Cities**, v. 31, p. 317–327, 2012.

ZANNIN, P. H. T., FERRAZ, F. Assessment of Indoor and Outdoor Noise Pollution at a University Hospital Based on Acoustic Measurements and Noise Mapping. **Open Journal of Acoustics**, v.6, p. 71-85, 2016.

ZANNIN, P. H. T., PAZ, E. C. Avaliação da Poluição Sonora no Câmpus III – Câmpus Centro Politécnico e Câmpus Jardim Botânico – da Universidade Federal do Paraná – Curitiba, PR. **R. Ra'e Ga**, v. 26, p. 05-34, 2012.

ZANNIN, P. H. T., SOARES, P., RIBEIRO, R., SANTOS, G., CONSTANTINI, A. Análise Espectral do Ruído no Entorno do Câmpus Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná. **R. Ra'e Ga**, v. 32, p. 73-94, 2014.