



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Incomodidade do ruído em usuários de transporte coletivo: análise do contexto brasileiro

Estercio, D. C. L.¹; Romanichen, C. M.²; Soares, P. F.³

¹ Arquitetura, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, SP, Brasil, esterciodayane@gmail.com

² Engenharia Urbana, Maringá, PR, Brasil, pfsoares@uem.br

³ Engenharia Urbana, Maringá, PR, Brasil, camilaromanichen@hotmail.com

Resumo

Com o crescimento das cidades, os sistemas de transportes coletivos são sistemas fundamentais para a mobilidade urbana. As estruturas construídas, comumente apresenta problemas relacionados com o ruído. Áreas como pontos de parada de ônibus, que compõem a rede de estruturas dos sistemas de transporte coletivos são espaços bastante utilizadas pela população, porém são pouco avaliados em pesquisas. Isto posto, o objetivo dessa pesquisa é avaliar o impacto ambiental do ruído de tráfego veicular nos usuários em corredores de ônibus. Para isso, foram realizadas medições dos níveis sonoros em diferentes pontos em corredores de ônibus, contagem e categorização dos veículos, bem como a elaboração da modelagem de mapas de ruído com o Software IMMI 2020 (Wölfel-Gruppe). O estudo foi aplicado em dois trechos na cidade de Maringá – Paraná. Os trechos avaliados fazem parte dos corredores de ônibus municipal, o qual apresentam uma via com seis faixas de rodagem, sendo duas exclusivas para os ônibus. Para a avaliação foram simulados diferentes cenários de posicionamentos dos usuários. Posteriormente foram aplicados modelos de avaliação e em seguida foi aplicado o teste t-Student, para estimar os níveis sonoros e a similaridade com os dados aferidos *in loco*. Os resultados obtidos mostraram que o design do ponto de ônibus influencia na exposição aos usuários e que estes estão expostos a níveis superiores aos limites estabelecidos pela NBR 10.151, chegando a níveis superiores a 79 dB. Conclui-se com a pesquisa que os níveis sonoros os quais os usuários dos sistemas de transporte coletivo estão submetidos quando estão nos corredores de ônibus são prejudiciais à saúde. Assim seria necessário implementar medidas para atenuar a intensidade dos níveis sonoros.

Palavras-chave: Mapas de ruído, simulações, impacto ambiental, corredores de ônibus.

PACS: 05.40.Ca; 43.50.+y; 43.58.+z; 44.05.+e;

Abstract

As cities grow, public transportation systems play a fundamental role in urban mobility. Built structures commonly present noise-related problems. Areas such as bus stop, which are part of the structures of public transport systems, are spaces used daily by the population. The research aims to evaluate the environmental impact of vehicle traffic noise on users in bus lanes. Thus, measurements of sound levels in bus corridors, vehicle counting, and the elaboration of noise maps will be performed using the IMMI 2020 Software (Wölfel-Gruppe). The study was applied in two sections in the city of Maringá-Brazil. The sections evaluated are part of the municipal bus corridors, which have a road with six lanes, two of which are exclusive for buses. For the study, it evaluated users in different positions. Subsequently, evaluation models were applied to compare the results with the current regulations, then the t-Student test to estimate the sound levels and similarity with the data measured *in loco*. The results obtained showed that the design of the bus stop influences the exposure to users and that these levels are higher than the limits established by NBR 10.151:2021, reaching levels higher than 79 dB. It concluded with the research that users of public transport systems are exposed to sound levels that are harmful to health. That said, it would require measures to mitigate the intensity of sound levels.

Keywords: Noise maps, simulations, environmental impact, bus lanes.



1. INTRODUÇÃO

O som é uma vibração mecânica, audível aos seres humanos na faixa de frequência de 20Hz a 20kHz [1]. Seu conceito é associado a uma sensação auditiva humana e, dependendo da situação o som pode ser designado como ruído [2]. Assim o ruído é comumente associado como indesejável e incômodo.

Em meio urbano, as principais fontes de ruído urbano de acordo com a Organização Mundial da saúde (OMS) são as oriundas do tráfego rodoviário, aéreo e ferroviário, da construção civil, obras públicas, indústria, vizinhança, templos religiosos entre outros [3-4].

O aumento das fontes de ruído podem causar como mostram diferentes pesquisas [3;5-6] efeitos nocivos a população. Fatores como tempo de exposição, intensidade, frequência e condições de saúde dos indivíduos podem desencadear desde um simples desconforto a problemas de saúde da população exposta.

Dessa forma torna-se importante a avaliação do ruído urbano, de forma a garantir que os níveis sonoros emitidos de determinadas fontes estejam em conformidade com os limites estipulados por normativas e legislações acerca do tema.

O presente estudo tem como estudo de caso os corredores de ônibus. A área de estudo são os corredores de ônibus localizados na cidade de Maringá-PR. Os corredores de ônibus são importantes elementos nos sistemas de transportes coletivos. Auxiliam na mobilidade urbana, pois possibilitam a ampliação e acesso a redes de transporte coletivo de uma determinada cidade.

No entanto, estes espaços comumente apresentam problemas relacionados com ruído urbano, pois concentram um número elevado de veículos pesados. Os pontos de ônibus nesses trechos apresentam número elevado de pessoas ao longo do dia. Estes indivíduos estão expostos dependendo da estrutura, a intempéries e aos ruídos dos veículos automotores.

A pesquisa tem como objetivo avaliar o impacto ambiental das fontes de ruído nos corredores de

ônibus. Para isso, foi realizada uma abordagem com diferentes ferramentas de avaliação, a fim de avaliar o impacto do ruído nas pessoas que utilizam os corredores de ônibus ao longo do dia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As avaliações do impacto ambiental foram realizadas conforme a metodologia descrita pela Norma Brasileira NBR 10.151/2021, Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral. No estudo foram realizadas medições pontuais dos níveis de pressão sonora e a contagem e categorização dos veículos. Para finalizar foram aplicados modelos de predição e elaborado mapas de ruído.

3.1 Estudo de caso

O objeto de estudo da pesquisa são os corredores de ônibus, desta forma foram selecionados dois trechos na cidade de Maringá, na região norte-central do estado do Paraná, Brasil (Figura 01).



Figura 1: Mapa de localização

Os trechos, localizam-se nos corredores de ônibus das avenidas Kakogawa e Morangueira. Foram aferidos 10 pontos no primeiro trecho e 8 pontos no segundo (Figuras 2 e 3).

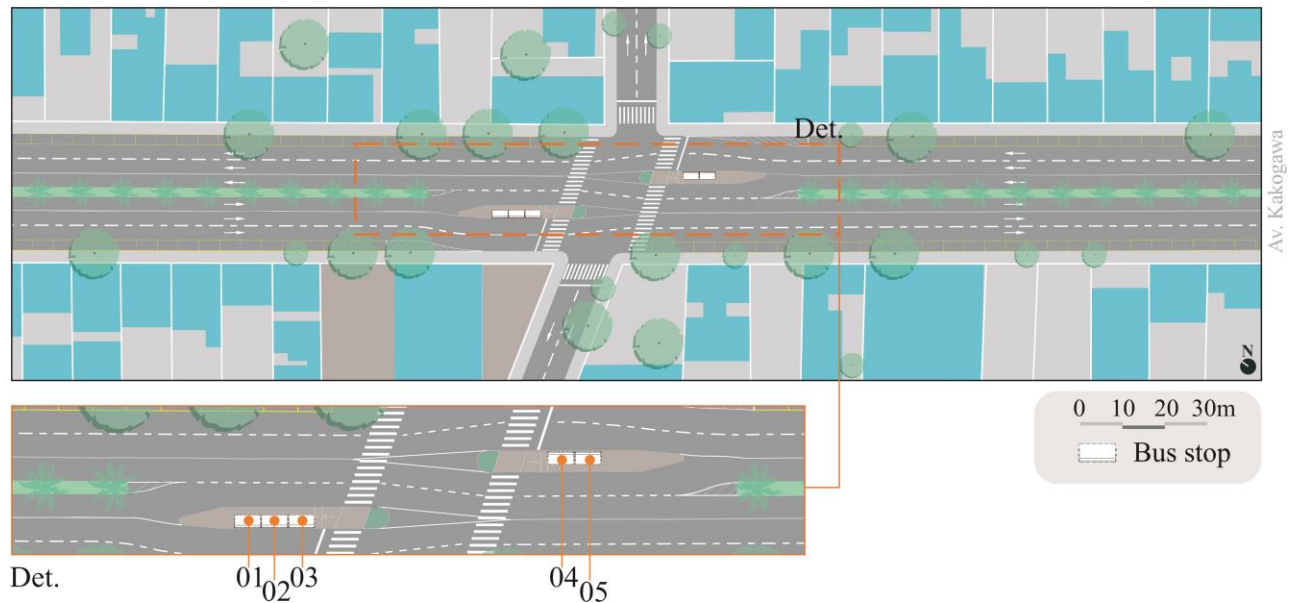


Figura 2: Localização trecho avenida Kakogawa

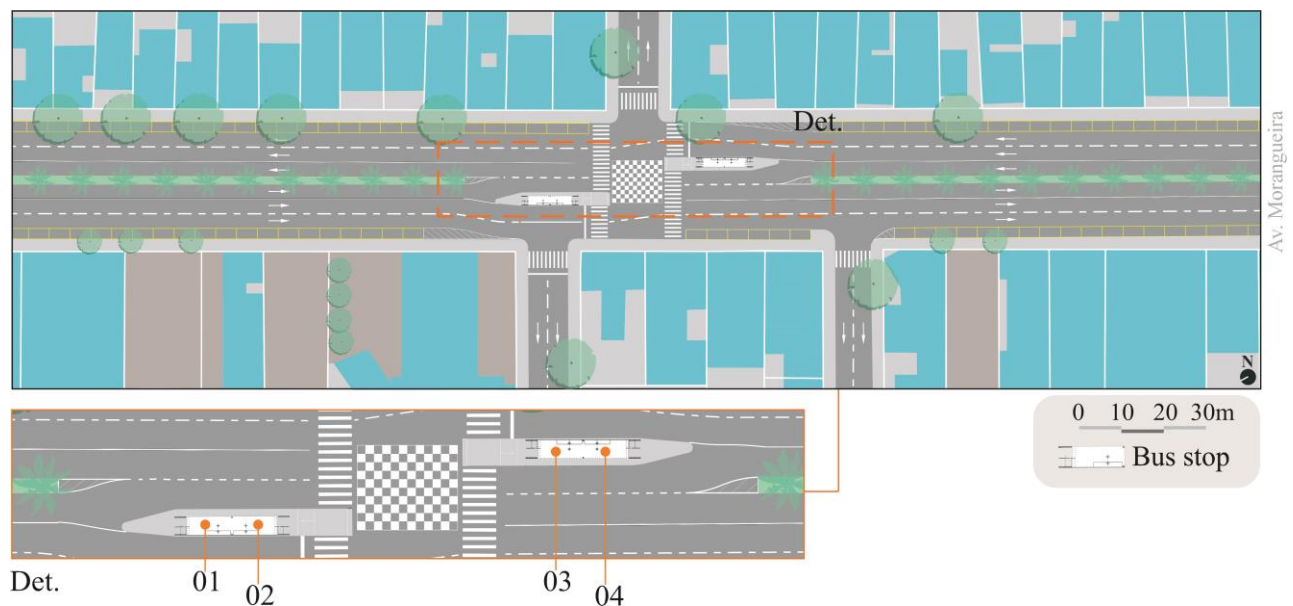


Figura 3: Localização trecho avenida Morangueira

Ambos os trechos apresentam edificações comerciais, serviços e residenciais. A principal fonte de ruído presente é o ruído de tráfego veicular. O monitoramento foi realizado durante o período de modernização da rede de transporte público. No trecho 02 na avenida Morangueira os pontos de ônibus já haviam sido alterados para o novo design. Outra alteração foi o número de pontos de ônibus. Anteriormente haviam no trecho 5 pontos, após as obras o número passou a ser 4, dois de cada lado.

Já o trecho da avenida Kakogawa não havia passado por obras, durante o período de monitoramento apresentava o design antigo e 5 pontos de ônibus. A medição foi realizada com o uso do sonômetro 2270, da empresa Bruel&Kjaer, classe 1. Em cada ponto de ônibus foram aferidas duas medições. A primeira leitura simulou o usuário em pé, à 1,6 m de altura e a segunda o usuário sentado à 1,25 m de altura, como mostram as Figuras 4 e 5.

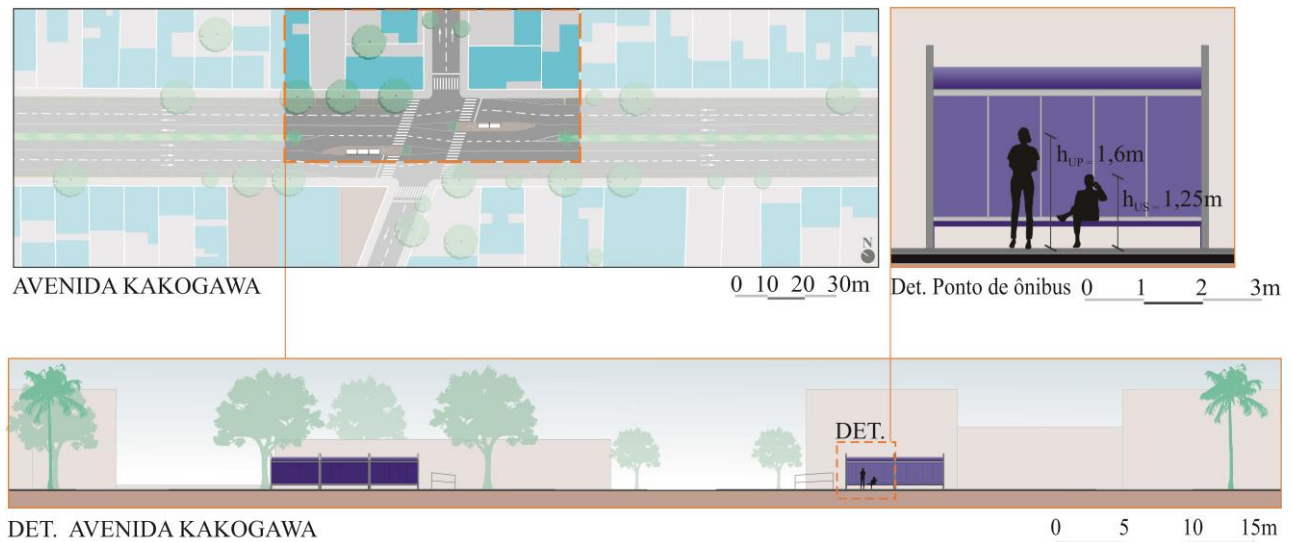


Figura 4: Corte trecho avenida Kakogawa e altura dos usuários

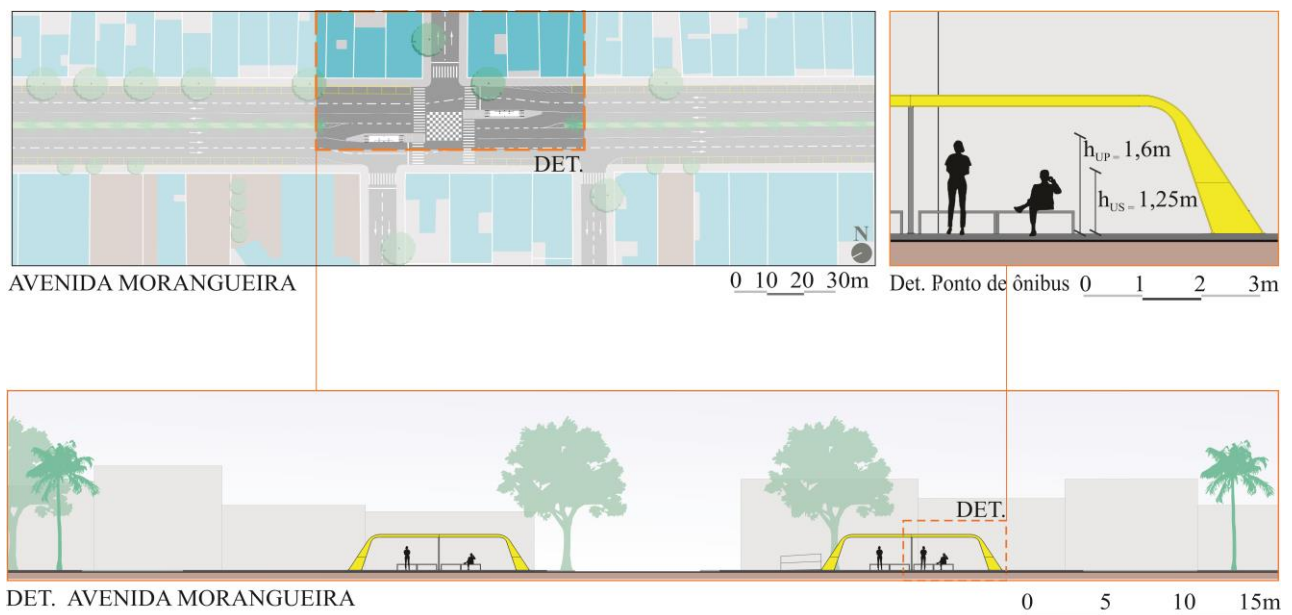


Figura 5: Corte trecho avenida Morangueira e altura dos usuários

O monitoramento foi realizado nos dias 21, 22 e 23 de janeiro (terça-feira, quarta-feira e quinta-feira respectivamente), às 13:00 da tarde. A contagem veicular foi realizada simultaneamente, os veículos foram categorizados em: leve, médio e pesado. A primeira categoria contabilizou as motos, a segunda carros e a última caminhões e ônibus.

Foram calculados os descritores acústicos L_{Aeq} , $L_{tráfego}$ e o TNI e, os níveis estatísticos L_{10} , L_{50} , L_{90} . Os resultados analisaram se os níveis sonoros obtidos estão de acordo com a legislação vigente. Foi realizada uma comparação dos dados aferidos com métodos de predição de ruído. Os métodos adotados na comparação são os modelos matemáticos de Estercio e Soares [7] e Anderson e Kurze [8],

para finalizar foram elaborados mapas acústicos com o uso do software IMMI 2020.

3.1 Avaliação do ruído ambiental

A avaliação do ruído é uma importante ferramenta, pois, avalia o impacto causado por uma ou mais fontes de ruído em uma determinada área. Os dados obtidos na aferição dos níveis sonoros e demais condicionantes ambientais dão subsídio para a aplicação de medidas de controle do ruído.

A análise pode ser classificada em: medições *in locu* ou simulações. As avaliações devem ser realizadas de acordo com a legislação. No Brasil a legislação pertinente ao tema é regulamentada pela Resolução CONAMA 001, de 08 de março de 1990, que “dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política” [9].

A lei adota como metodologia de avaliação os parâmetros descritos pela norma NBR 10.151:2020: Acústica — Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral [10].

A legislação municipal da área de estudo é regulamentada pela Lei complementar Nº 218 de 9 de janeiro de 1998, que dispõe sobre o controle e a fiscalização das atividades que gerem poluição sonora, impõe penalidades e dá outras providências. Assim como a legislação federal, a legislação municipal também adota como metodologia os parâmetros e recomendações da NBR 10.151 e/ou NBR 10.152 da ABNT [11].

3.1 Descritores de ruído

Para a analisar os efeitos do ruído de forma quantitativa são adotados os descritores de ruído. Na pesquisa foram adotados os descritores, L_{Aeq} , Níveis estatísticos – L_{10} , L_{50} e L_{90} – $L_{Tráfego}$ e TNI.

O nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderado em A, é expresso pelo descritor $L_{Aeq,T}$, em decibels (dB) no espectro global, é obtido pela integração no tempo T , calculado pela média logarítmica ponderada no tempo de resultados integrais em intervalos de tempo parciais [10]. O descritor é calculado conforme a Equação 1.

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{1}{T} \cdot \int_0^T \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right], \quad (1)$$

onde $p_{A(t)}$ é a pressão sonora instantânea ponderada em A no instante t , expressa em pascal (Pa); p_0 é a pressão sonora de referência ($p_0=20 \mu\text{Pa}$); T é o tempo de integração.

Os níveis estatísticos, correspondem aos níveis de pressão sonora excedidos em uma porcentagem de tempo, durante o período de medição [12], onde L_{90} , corresponde aos níveis sonoros excedidos em 90% do tempo de medição. Já o L_{50} e L_{10} , correspondem aos níveis sonoros excedidos em 50% e 10% respectivamente ao tempo de medição.

O descritor $L_{Tráfego}$ por sua vez, consiste na correlação entre o volume de tráfego por hora Q e a distância do eixo das vias ao receptor d [13]. O descritor é calculado de acordo com a Equação 2.

$$L_{Tráfego} = L_{eq} = 52 + 10 \log \left(\frac{Q}{d} \right), \quad (2)$$

O último descritor é o índice de ruído de tráfego (Traffic Noise Index – TNI), que consiste na combinação ponderada dos níveis estatísticos L_{10} e L_{90} [14], expresso pela Equação 3.

$$TNI = 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) + L_{90} - 30, \quad (3)$$

3.3 Teste T-student

O teste *T* de *Student* consiste em uma análise estatística que compara a variância entre amostras, a partir de uma hipótese. Dessa forma para analisar a similaridade entre as medições *in locu* e os mapas sonoros. A amostra de cada



comparação corresponde ao número de elementos calculados.

Nesta análise calcula-se o valor t-crítico, que é obtido com base no nível de significância e os graus de liberdade. Se o valor de t-crítico for igual ou superior ao calculado (t), aceita-se a hipótese H_0 , que significando que não há variância significativa entre as amostras [15]. O valor de t é expresso pela Equação 4.

$$t = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sqrt{(S_1^2/n_1) + (S_2^2/n_2)}}, \quad (4)$$

Onde $\bar{X}_1$ e $\bar{X}_2$ correspondem as médias de cada grupo, S_1 e S_2 correspondem aos desvios padrão dos respectivos grupos e n_1 e n_2 são os números de amostra de cada grupo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O trecho da Avenida Kakogawa se classifica de acordo com a Lei Complementar nº 888/2011 [16], que dispõe sobre o uso e ocupação do solo do Município de Maringá e dá outras providências, como zona residencial 3, de acordo com a norma, para este tipo de área o nível sonoro recomendado é de 55 dB para períodos diurnos.

O trecho na Avenida Morangueira de acordo com a Lei municipal como Zona residencial 2, assim como no trecho 1, apresenta o limite máximo para períodos diurnos é de 55 dB. Os resultados aferidos no estudo apresentam níveis acima do estipulado pela legislação, como mostram os Gráficos 1 e 2.

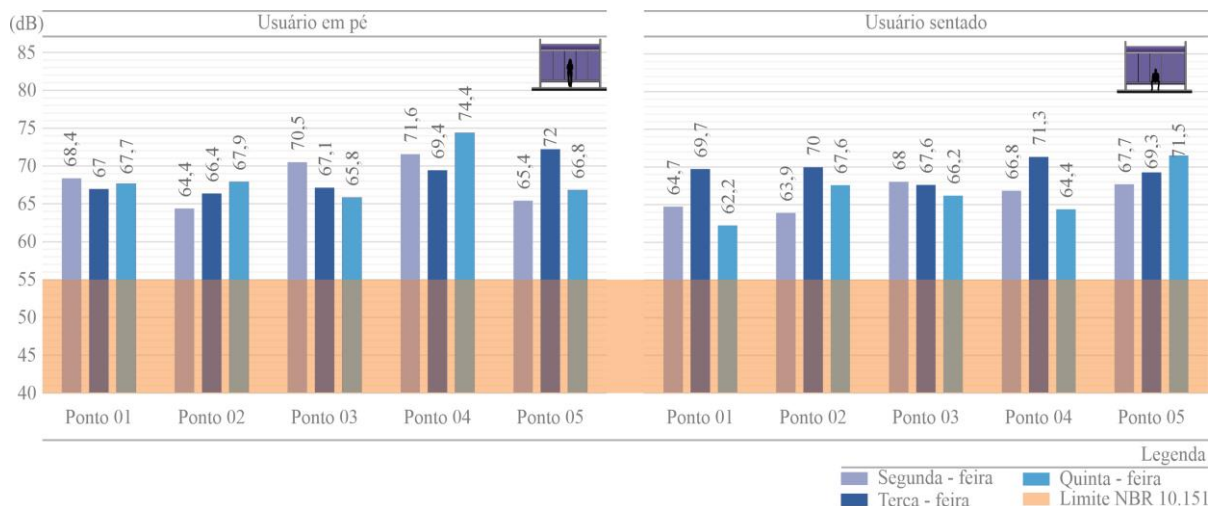


Gráfico 1: Corte trecho avenida Kakogawa e altura dos usuários

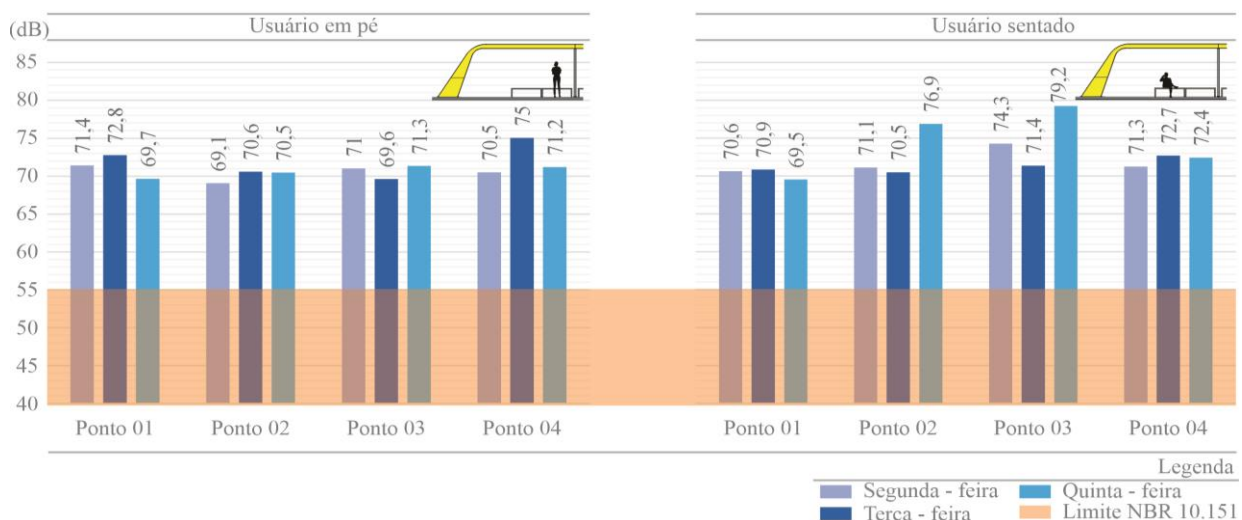


Gráfico 2: Corte trecho avenida Morangueira e altura dos usuários

Todos os pontos dos dois trechos apresentaram se acima do recomendável pela normativa. Na região a principal fonte de ruído presente é o ruído de tráfego veicular. Devido ao fluxo elevado de veículos, sobretudo os veículos pesados, os níveis de ruído de fundo também apresentam níveis superiores aos estipulados pela legislação, exceto o usuário sentado no ponto 1, na quinta-feira, como mostra o Gráfico 3.

72,1 dB e 68,9 dB a 71,8 dB, para os usuários em pé e sentado respectivamente.

Já para o nível estatístico L_{90} os valores no trecho 1 foram de 56,4 dB a 61,9 dB para o usuário em pé e 54,1 dB a 60,7 dB para o usuário sentado. O trecho 2, os níveis aferidos foram de 57,1 dB a 66,9 dB e 59,8 a 65,7 dB respectivamente.

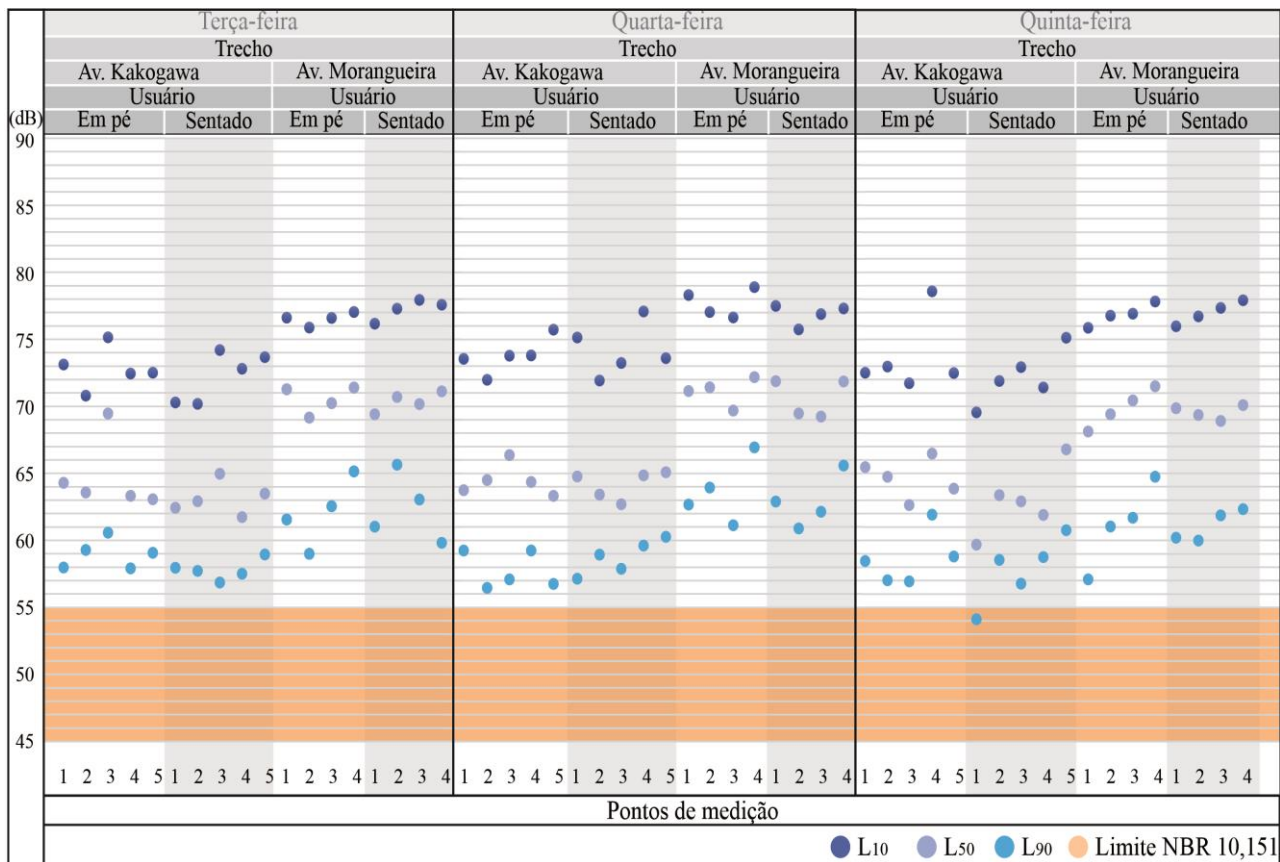


Gráfico 3: Níveis estatísticos

O descritor L_{10} apresentou valores de 71dB a 78,6 dB, para o usuário em pé e 69,5 dB a 77 dB para o usuário sentado no trecho da avenida Kakogawa. Na avenida Morangeira os valores de L_{10} variaram de 75,9 dB a 78,8 dB, para o usuário em pé e 75,7 dB a 77,9 para o usuário sentado. Neste descritor foram aferidos níveis mais intensos no segundo trecho.

O descritor L_{50} apresentou níveis entre 63,2 dB a 69,6 dB para o usuário em pé e 59,7 dB a 66,8 dB para o usuário sentado, no trecho 01. No segundo trecho os valores foram de 68,1 dB a

Outro descritor analisado foi o $L_{tráfego}$, neste o nível de ruído calculado, baseia-se na relação entre o volume de tráfego e a porcentagem de veículos pesados. Neste descritor os valores apresentaram-se superiores no trecho da avenida Morangeira. No trecho 2 tanto a porcentagem quanto o volume total de veículos foram superiores ao trecho 1.

Os valores máximos calculados foram de 76,3 dB para o usuário em pé e 75,1 para o usuário sentado, como mostram os Gráficos 3 e 4.

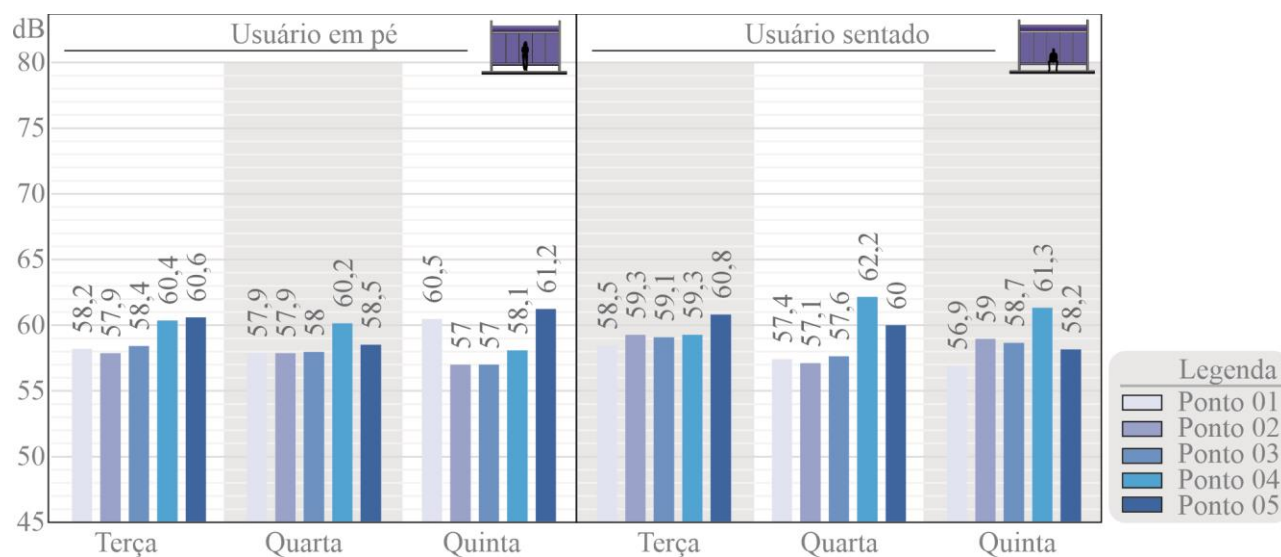


Figura 3: $L_{\text{tráfego}}$ da Avenida Kakogawa

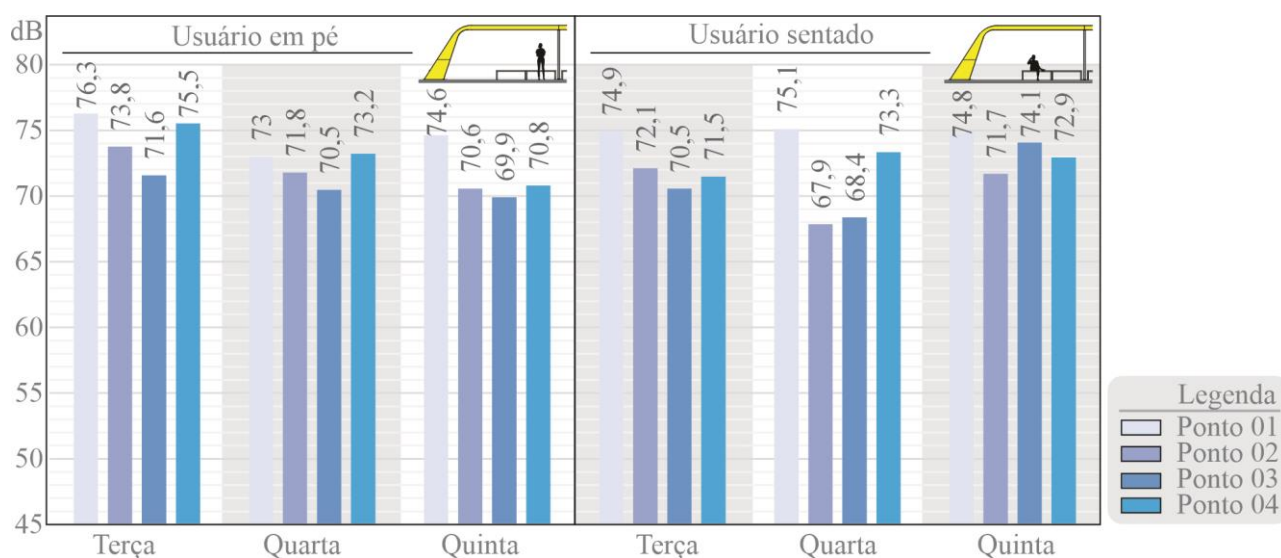
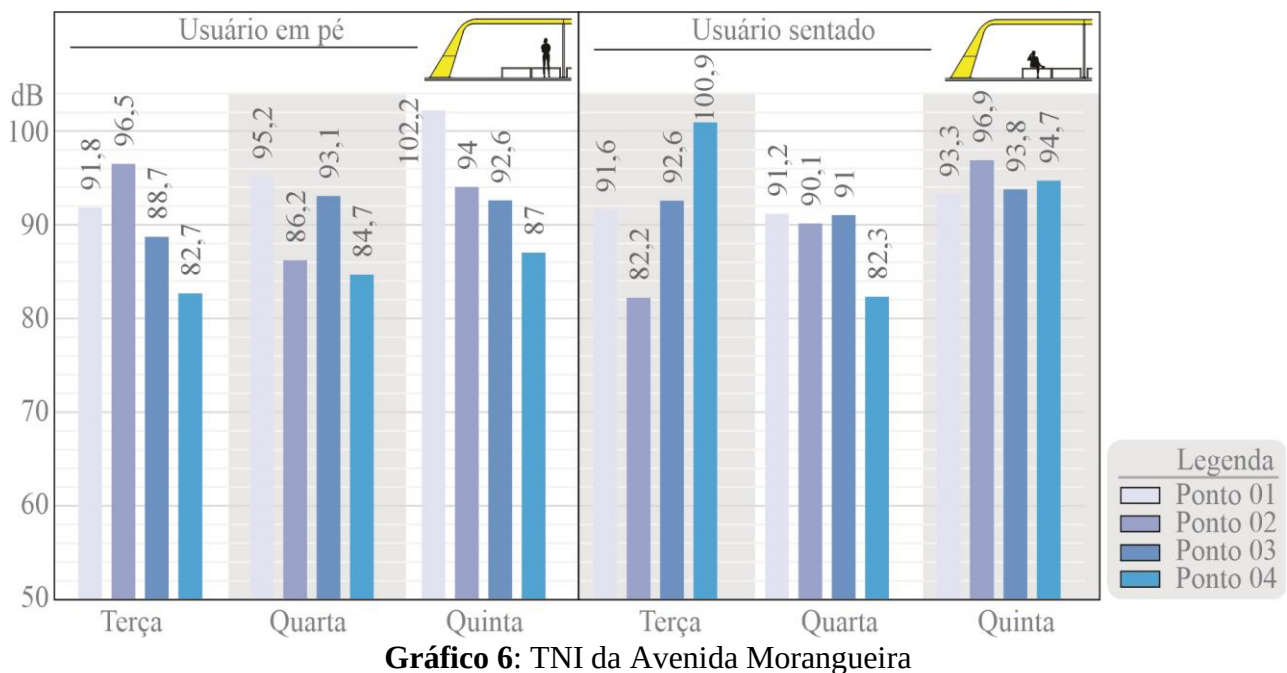
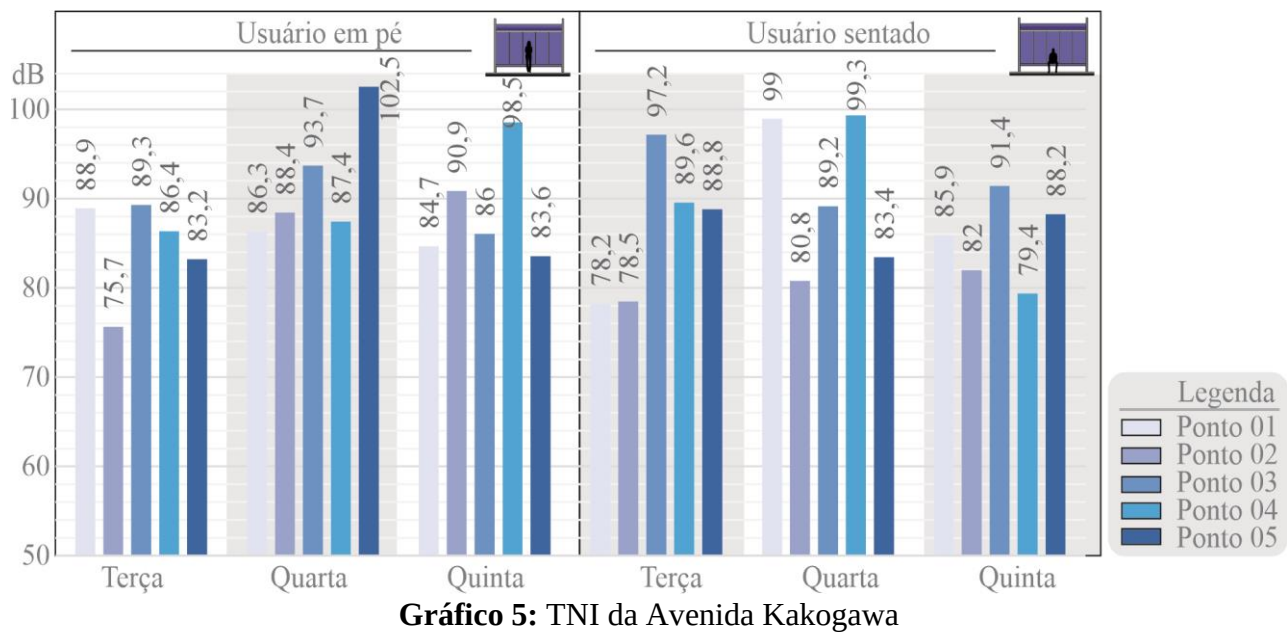


Figura 4: $L_{\text{tráfego}}$ da Avenida Morangueira

No trecho da Avenida Morangueira, além do volume de tráfego e porcentagem de veículos pesados serem superiores aos do trecho da Avenida Morangueira, outro fator agravante neste trecho é o design dos pontos de ônibus. O trecho apresenta o novo design implantado na cidade. Durante o monitoramento os abrigos não apresentavam fechamento posterior. Dessa forma os usuários estavam expostos aos raios sonoros provenientes das faixas localizadas próxima a fachada posterior do abrigo.

O descritor TNI, que mede o grau de incomodidade gerado pelo ruído de tráfego, mostrou valores que corroboram com os demais descritores analisados. No trecho da Avenida Kakogawa os valores foram de 75,7 dB a 102,5 dB e 78,2 dB a 99,3 dB para os usuários em pé e sentado respectivamente e no trecho da Avenida Morangueira foram de 82,7 dB a 102,2 dB e 82,2 dB a 100,9 dB, como mostram os Gráficos 5 e 6.



A avaliação mostra que as pessoas que utilizam estes espaços diariamente estão expostas a níveis intensos de ruídos. Dessa forma seriam necessários estudos para analisar quais medidas poderiam ser implantadas nesses espaços.

Para estas avaliações são adotadas simulações, que podem ser a partir de modelos de predição ou softwares de mapeamento sonoro. Na pesquisa foram avaliados os dois tipos de avaliações e analisados o grau de similaridade com os dados *in loco*.



Na primeira análise foram avaliados os modelos matemáticos de Anderson e Kurze [8] e de Estercio e Soares [7], como mostram os Gráficos 7 e 8.

usuário sentado. No trecho 2, a variação foi de 0,2 dB a 0,6 dB e 0 dB a 0,3 dB para os usuários em pé e sentado respectivamente.

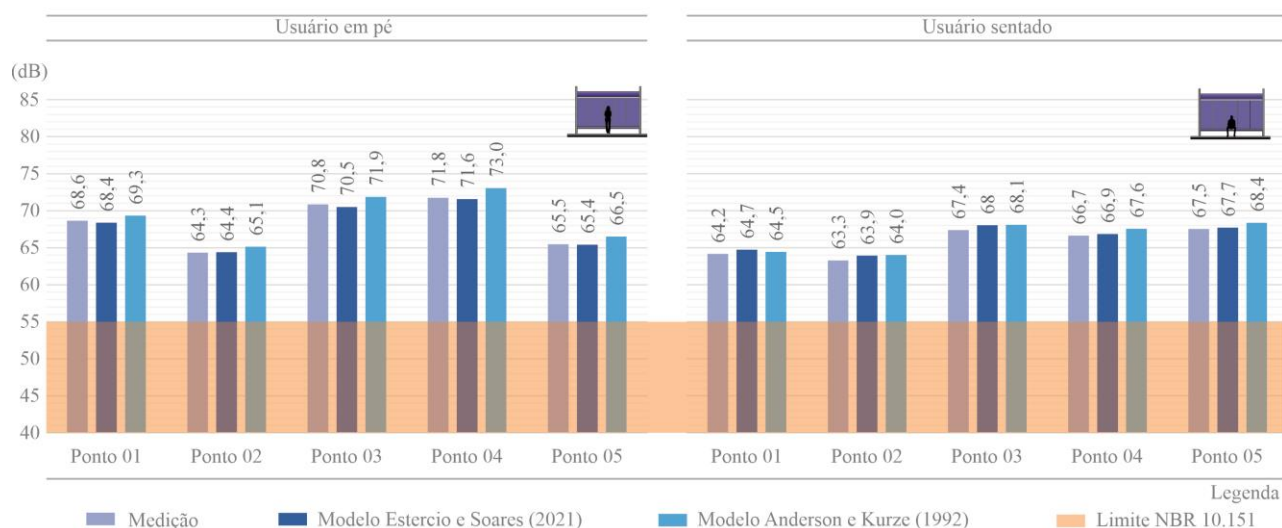


Gráfico 7: Resultado medição e modelos preditivos trecho 1

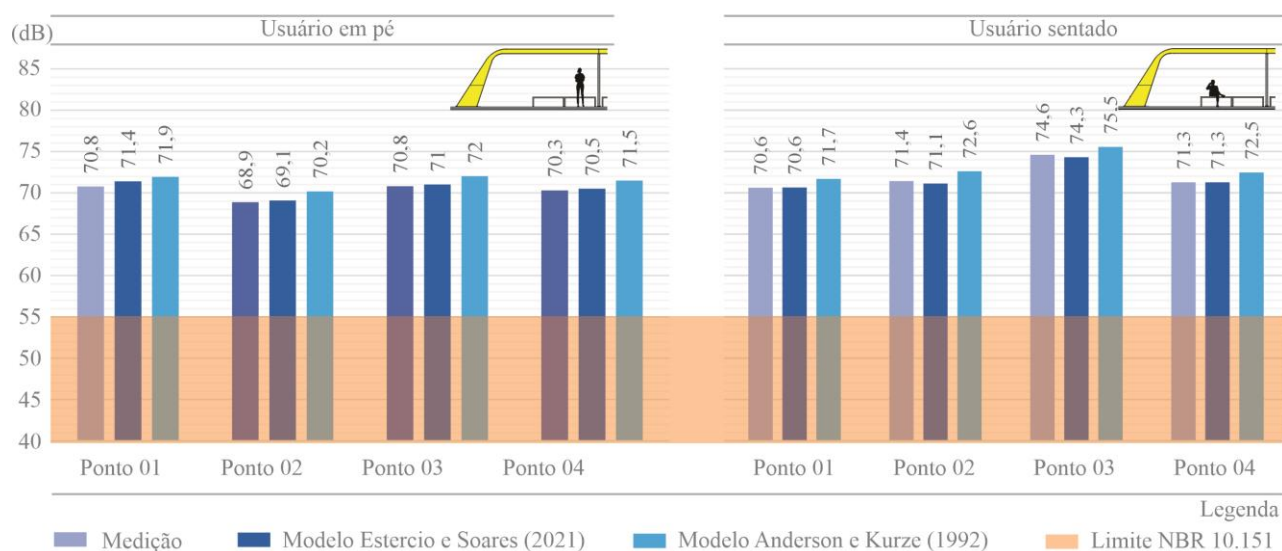


Gráfico 8: Resultado medição e modelos preditivos trecho 2

Ambos os modelos apresentaram similaridade com os dados aferidos *in loco*, em ambos os cenários.

No modelo de Estercio e Soares [7], houve uma variação de 0,1 dB a 0,3 dB no trecho 01 para o usuário em pé e de 0,2 dB a 0,7 dB para o

Na equação de Anderson e Kurze a variação foi de 0,8 dB a 1,5 dB para o usuário em pé e 0,1 dB a 0,7 dB para o usuário sentado, no trecho 01. Na avenida Morangureira a variação foi de 0,5 dB a ,1 dB e 1,1 dB a 1,5 dB para os usuários em pé e sentados respectivamente. A similaridade entre os modelos a medição *in loco*

foi de 98% no modelo de Estercio e Soares e 97% no modelo de Anderson e Kurze, ambos modelos apresentaram com base no teste *T-student* valores abaixo do t crítico (bi-caudal) no trecho 01 o t-crítico foi de 2,7764 e no Modelo de Estercio o valor t foi de 0,09 para o usuário em pé e 0,014 para o usuário sentado. No modelo de Anderson e Kurze os valores de 0,001 e 0,26 para os usuários em pé e sentado respectivamente.

respectivamente. O modelo de Anderson e Kurze, apresentou valores de 0,005 e 0,0007 respectivamente.

A segunda avaliação de simulação na pesquisa foi realizada por meio de mapa sonoros, como mostram as Figuras 6 e 7. Os mapas foram desenvolvidos pelo Software IMMI, nele mostra a propagação do ruído nos trechos.

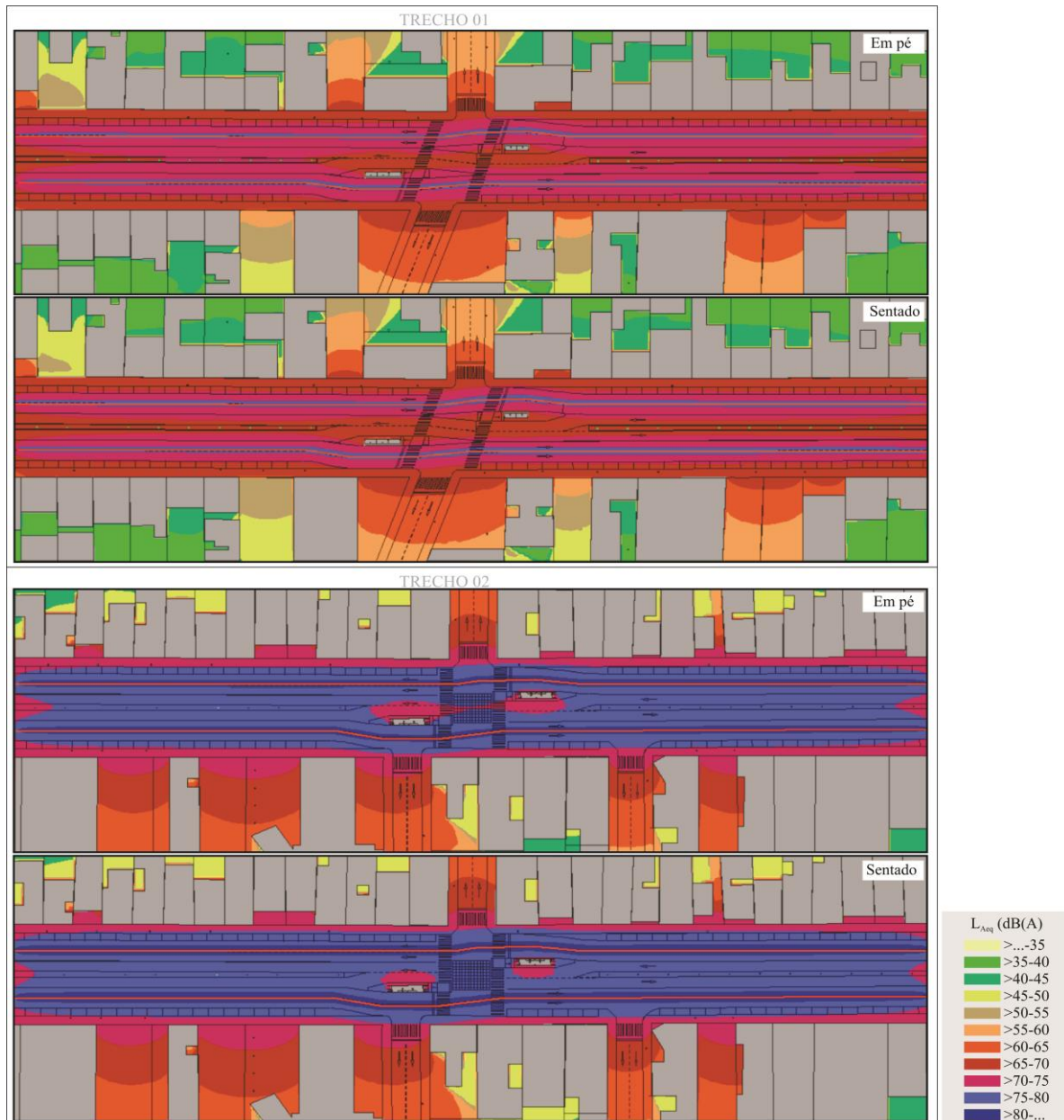


Figura 6: Mapa acústico trecho 1

No trecho 2 o t-crítico foi de 3,1824, os valores obtidos no modelo de Estercio e Soares foi de 0,07 e 0,2 para os usuários em pé e sentado

Com o mapeamento é possível visualizar a influência das estruturas dos abrigos de cada trecho e como o ruído chega aos usuários.



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na pesquisa foi possível avaliar a poluição sonora em corredores de ônibus. As diferentes ferramentas mostram a ampla variedade de instrumentos de avaliação. Tanto os modelos preditivos quanto os mapas sonoros foram técnicas que obtiveram boa correlação com os dados aferidos *in loco* possibilitando futuras pesquisas com emprego de medidas mitigatórias.

9. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), durante o mestrado na Universidade Estadual de Maringá.

REFERÊNCIAS

[1] Schmid, A. L. A Ideia de Conforto. Reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. 348 p.

[2] Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 16313: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

[3] World Health Organization (WHO). Guidelines for Community Noise. In: Berglund B.; Lindvall, T.; Schwela D. H. Geneva: World Health Organization, 1999. 141 p. Disponível em: <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>

[4] Guedes, I. C. M. Influência da forma urbana em ambiente sonoro: um estudo no bairro Jardins em Aracaju (SE). 2005. 137f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2005. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOS/IP/258522/1/Guedes_ItaloCesarMontalvao_M.pdf

[5] World Health Organization (Who). Le Bruit. Critères d'hygiène de l'environnement, 12. In:

WHO Task Group on Environmental Health Criteria for Noise. Geneva: W. H. O., 1980. 118 p. Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/39513/1/9242540722_fre.pdf?ua=1.

[6] Manzana, A. C. El ruido en la ciudad, gestión y control. Madrid: Sociedad Española de Acústica, 1998. 540 p.

[7] Estercio, D. C. L.; Soares, P. F. Acoustic prediction modeling and sound mapping of public transport users' exposure at a bus stop. Proceedings of INTER-NOISE 2021, Washington, DC, August, 2021. doi: <https://doi.org/10.3397/IN-2021-2591>.

[8] Anderson, G. S.; Kurze, U. J. Outdoor sound propagation, in: BERANEK, L. L.; VÉR, I. L. Noise and vibration control engineering: principles and applications. New York: John Wiley and Sons, 1992. 976p.

[9] Conama. Resolução 001 de 1990. 02 de abril de 1990. D.O.U, Seção I, p. 6.408.39.

[10] Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT). NBR 10.151:2020 Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas — Aplicação de uso geral. Rio de Janeiro, 2020.

[11] Maringá. Prefeitura do Município de Maringá. Lei complementar nº 218/1998.

[12] Bistafa S. R. Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2011. p. 384.

[13] Bosco, D. L.; Leonard, G.; Scopelliti, F. Reference metodologie per lo studio dell'inquinamento acustico da traffico veicolare. Quaderno didattici. Mediterranean University of Reggio Calabria. 2006. 84p.

[14] Wilcox R. R. Fundamentals of Modern Statistical Methods: Substantially Improving Power and Accuracy. 2 ed. New York: Springer. 2010. 249 p.

[15] Maringá. Prefeitura do Município de Maringá. Lei complementar nº 888/2011.