

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
(PPGECIA)

FÁBIO ALVES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO SONORO EM CICLOVIAS NA CIDADE DE
ARACAJU/SE**

São Cristóvão (SE)

2024

FÁBIO ALVES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO SONORO EM CICLOVIAS NA CIDADE DE
ARACAJU/SE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Italo César Montalvão Guedes (PPGECIA/UFS)

Coorientador: Prof. Dr. André Luis Dantas Ramos (PPGECIA/UFS)

São Cristóvão (SE)

2024

FÁBIO ALVES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO SONORO EM CICLOVIAS NA CIDADE DE
ARACAJU/SE**

Dissertação de Mestrado aprovada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade Federal de Sergipe em 26 de fevereiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Italo César Montalvão Guedes
(Presidente e Orientador – PPGECA/UFS)

Prof. Dr. André Luis Dantas Ramos
(Coorientador - PPGECA/UFS)

Prof. Dr. José Jailton Marques
(Membro interno - PPGECA/UFS)

Prof.^a Dr.^a Aline Lisot Antoneto
(Membro Externo - UEM)

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus amigos que compartilharam comigo longas jornadas e aos novos companheiros do Programa de Pós-graduação, cuja disposição para conversar, esclarecer dúvidas e incentivar todo o processo foi fundamental para o meu percurso acadêmico.

Quero expressar minha profunda gratidão aos professores André Ramos e Italo Montalvão, que aceitaram o desafio ao meu lado, sempre prontos para oferecer orientação e apoio. Um agradecimento especial ao colega de projeto, Ryan Figueiredo, cujo comprometimento no desenvolvimento das atividades foi crucial para os avanços alcançados.

Não posso deixar de mencionar toda a equipe do PPGECA, representada pelos demais professores e pela equipe administrativa. Agradeço a atenção constante, disponibilidade e suporte em momentos de necessidade. Juntos, construímos um ambiente propício para o aprendizado e crescimento.

À minha amada família, dedico um agradecimento especial por seu suporte incansável, amor incondicional, dedicação e companheirismo ao longo de toda a minha vida. Cada conquista é também de vocês.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista, meus mais sinceros agradecimentos! Vocês foram peças fundamentais nesse quebra-cabeça acadêmico, tornando esta jornada ainda mais significativa e enriquecedora.

RESUMO

O crescimento do sistema cicloviário surge como alternativa ao tráfego intenso de veículos nas cidades. Entretanto, tem trazido exposição sonora aos ciclistas do ruído do tráfego veicular, emergindo como relevante preocupação para a saúde, uma vez que o ruído pode causar estresse, distúrbios do sono, impactos negativos no sistema nervoso, entre outros. Apesar da Lei Federal Nº 12.587, incentivar a mobilidade não motorizada, esta pesquisa foca na aparente falta de consideração do impacto provocado pelo ruído ao estabelecer critérios de implantação de ciclovias. Com base na realidade de Aracaju/SE, este estudo objetiva avaliar o impacto sonoro em ciclovias, a partir de campanhas de medição de níveis de pressão sonora e análises de fatores de influências no ruído, como características físicas da ciclovia e entorno próximo e de tráfego veicular. A análise dos dados revelou que todos os pontos de medição dos objetos de estudo excedem os níveis de ruído permitidos por norma específica - NBR 10151:2019 e não atendem aos padrões mínimos da Organização Mundial da Saúde (OMS). Apesar das ciclovias cumprirem critérios físicos básicos de implantação, de um modo geral, não consideram a proteção contra o ruído do tráfego para seus usuários. Uma maior distância da fonte - receptor pode mitigar os níveis de ruído, a exemplo do que foi observado em pontos da amostragem em que, apesar do alto volume de tráfego, apresentou menor nível de ruído devido ao posicionamento do canteiro que afasta a ciclovia da fonte de ruído proveniente do tráfego veicular. A complexidade da poluição sonora urbana, influenciada por diversos fatores, demanda uma análise detalhada da contribuição de diferentes tipos de veículos, sugerindo estudos complementares. A prevenção é crucial durante o projeto da infraestrutura urbana, mas medidas mitigadoras, como restrições de veículos em certos horários e técnicas de *traffic calming*, podem ajudar a reduzir o impacto do ruído nas ciclovias e áreas urbanas.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído urbano; Ruído de tráfego veicular; Medições de ruído; Mobilidade Urbana.

ABSTRACT

The growth of the cycling system emerges as an alternative to the intense vehicle traffic in cities. However, it has brought sound exposure to cyclists from vehicle traffic noise, emerging as a significant health concern, as noise can cause stress, sleep disturbances, negative impacts on the nervous system, among others. Despite Federal Law No. 12,587 encouraging non-motorized mobility, this research focuses on the apparent lack of consideration of the noise impact when establishing criteria for the implementation of bike lanes. Based on the reality of Aracaju/SE, this study aims to evaluate the sound impact on bike lanes, through campaigns measuring sound pressure levels and analyzing influencing factors on noise, such as physical characteristics of the bike lane and nearby surroundings and vehicle traffic. Data analysis revealed that all measurement points of the study objects exceed the noise levels allowed by specific standards - NBR 10151:2019 - and do not meet the minimum standards of the World Health Organization (WHO). Despite bike lanes meeting basic physical implementation criteria, they generally do not consider protection against traffic noise for their users. A greater distance from the source-receiver can mitigate noise levels, as observed at sampling points where, despite high traffic volume, lower noise levels were observed due to the positioning of the median, which distances the bike lane from the source of noise from vehicle traffic. The complexity of urban noise pollution, influenced by various factors, demands a detailed analysis of the contribution of different types of vehicles, suggesting complementary studies. Prevention is crucial during urban infrastructure projects, but mitigating measures, such as vehicle restrictions at certain times and traffic calming techniques, can help reduce the impact of noise on bike lanes and urban areas.

KEYWORDS: Urban noise; Vehicle traffic noise; Noise measurements; Urban mobility.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Tipos e quantidade de veículos.	18
Tabela 2-Estimativa de frota de bicicletas na região Nordeste	22
Tabela 3-Estimativa de frota de bicicletas nas capitais do Nordeste.....	23
Tabela 4-Limites dos níveis de pressão sonora de acordo com a ocupação estabelecidos pela NBR 10.151:2019, em dB.	39
Tabela 5- Síntese das informações extraídas de trabalhos correlatos sobre impactos sonoros em ciclovias.	46
Tabela 6-Dados coletados da Av. Mário Jorge e Delmiro Gouveia.....	66
Tabela 7-Dados coletados da Av. Paulo VI e Av. Josino José de Almeida	69
Tabela 8-Dados coletados da Av. Francisco José da Fonseca.....	71
Tabela 9-Dados coletados da Av. Etelvino Alves	73
Tabela 10-Dados coletados da Av. João Rodrigues	75
Tabela 11-Dados coletados da Av. São Paulo.....	77
Tabela 12-Dados coletados da Av. Augusto Franco	78
Tabela 13-Matriz de correlação para todos os pontos medidos entre os descritores acústicos e a distância medida.	80
Tabela 14-Dados coletados de todas as ciclovias-A.....	91
Tabela 15-Dados coletados de todas as ciclovias-B.....	92
Tabela 16-Dados coletados de todas as ciclovias-C.....	93

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Cidade de Mileto, século V a.c.....	16
Figura 2-Celerífero e bicicleta segura	17
Figura 3-Composição da frota brasileira de veículos de acordo com a categoria	19
Figura 4-Via arterial I (Plano diretor de desenvolvimento urbano)	24
Figura 5-Eschema para implantação de ciclovia/ciclofaixa	25
Figura 6-Valores de pressão sonora e nível de pressão sonora entre o limiar da audição e o limiar da dor.	28
Figura 7-Exemplo de registro de ruído ambiente em zona urbana.....	29
Figura 8-Cenário comum encontrado em ambiente urbano para o ciclista	30
Figura 9-Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar-livre.	31
Figura 10-Estimativa do nível de ruído em função da velocidade	32
Figura 11-Comportamento de uma onda sonora ao se deparar com uma barreira acústica	33
Figura 12-Resultado de um cenário de modelagem de exposição ao ruído ao longo de uma seção transversal	33
Figura 13-Posicionamento de ciclovia no Parque <i>Rivierenhof</i>	41
Figura 14-Sugestão de mitigação para o ruído Parque <i>Rivierenhof</i>	42
Figura 15-Proposta de cenário ideal para construção de uma ciclovia.	43
Figura 16-Etapas metodológicas da pesquisa.....	47
Figura 17-Localização geográfica da cidade de Aracaju.....	48
Figura 18-Exemplo de diferentes perfis viários presentes na cidade de Aracaju.....	49
Figura 19-Mapa Cicloviário da cidade de Aracaju – SE, com destaque as ciclovias analisadas	50
Figura 20-Pontos de medição ciclovia Av. Mario Jorge e Delmiro Gouveia.....	52
Figura 21-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Paulo VI e Josino José de Almeida.....	53
Figura 22-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Francisco José da Fonseca	54
Figura 23-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Etelvino Alves.....	55
Figura 24-Pontos de medição da ciclovia da Avenida João Rodrigues.....	56
Figura 25-Ponto de medição da ciclovia da Avenida São Paulo	56
Figura 26-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Augusto Franco.....	57
Figura 27-Equipamentos utilizados para coleta de dados acústicos: a) Termo-higro-anemômetro, b) Montagem tripé e sonômetro, c) Calibrador, d) Trena.....	58
Figura 28-Medição com sonômetro e monitoramento das variáveis ambientais	60

Figura 29-Ajuste de posicionamento do sonômetro nas medições	60
Figura 30-Exemplo de coleta de variáveis em relação à distância da via.	61
Figura 31-Fluxo de ciclistas ao longo do dia na cidade de Aracaju	62
Figura 32-Posicionamento do ponto P1, Av. Mário Jorge Menezes	64
Figura 33-Posicionamento do ponto P2, Av. Mário Jorge Menezes	64
Figura 34-Posicionamento do ponto P3, Av. Delmiro Gouveia.....	65
Figura 35-Posicionamento do ponto P1, Av. Paulo VI	67
Figura 36-Posicionamento do ponto P2, Av. Josino José de Almeida	68
Figura 37-Posicionamento do ponto P3, Av. Josino José de Almeida	69
Figura 38-Posicionamento do ponto P1, Av. Francisco José da Fonseca	70
Figura 39-Posicionamento do ponto P2, Av. Francisco José da Fonseca	71
Figura 40-Posicionamento do ponto P1, Av. Etelvino Alves.....	72
Figura 41-Posicionamento do ponto P2, Av. Etelvino Alves.....	73
Figura 42-Posicionamento do ponto P1, Av. João Rodrigues.....	74
Figura 43-Posicionamento do ponto P2, Av. João Rodrigues.....	75
Figura 44-Posicionamento do ponto P1, Av. São Paulo.....	76
Figura 45-Posicionamento dos pontos P1 e P2 na Av. Augusto Franco	77
Figura 46-Valores médios de L_{Aeq} ' por ponto de medição nas ciclovias avaliadas.....	79
Figura 47-Análise dos fatores de influência envolvidos	80
Figura 48- Mapa com espacialização dos descritores acústicos nos pontos das ciclovias investigadas.	81

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2. OBJETIVOS.....	14
1.2.1. Objetivo geral.....	14
1.2.2. Objetivos específicos	14
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	14
2. REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1 MOBILIDADE URBANA.....	15
2.1.1 Evolução e tipos de meios de transporte	15
2.1.2 Mobilidade urbana sustentável.....	19
2.1.3 Critérios adotados para implantação de ciclovias na cidade de Aracaju/SE.....	23
2.2 RUÍDO URBANO E POLUIÇÃO SONORA	28
2.2.1 Conceitos e aspectos gerais.....	28
2.2.2 Ruído de tráfego veicular	31
2.3 DESCRITORES ACÚSTICOS PARA AVALIAÇÃO DE RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR.....	35
2.3.1 Nível de pressão sonora equivalente contínuo (L_{eq}).....	35
2.3.2 Níveis estatísticos (L_n)	36
2.3.3 Índice de ruído de tráfego (TNI).....	36
2.3.4 Nível de poluição sonora (L_{NP})	37
2.3.5 Nível de exposição sonora (SEL)	37
2.4 IMPACTO DO RUÍDO NO SER HUMANO	38
2.5 NORMAS E LEGISLAÇÕES PERTINENTES	39
2.6 CONSIDERAÇÃO DO FATOR RUÍDO NO PLANEJAMENTO DE CICLOVIAS	41
2.7 ESTUDOS DO IMPACTO SONORO EM CICLOVIAS.....	43
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	47

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	47
3.2 LOCAL DE ESTUDO.....	47
3.3 SELEÇÃO DOS OBJETOS DE ESTUDO - CICLOVIAS	51
3.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	58
3.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	59
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1 RESULTADOS OBTIDOS POR CICLOVIA.....	63
4.1.1 Ciclovía da avenida Mario Jorge de Menezes e Delmiro Gouveia.....	63
4.1.2 Ciclovía da avenida Paulo VI e Josino José de Almeida	66
4.1.3 Ciclovía da avenida Francisco José da Fonseca.....	70
4.1.4 Ciclovía da avenida Etelvino Alves	72
4.1.5 Ciclovía da avenida João Rodrigues	74
4.1.6 Ciclovía da avenida São Paulo.....	76
4.1.7 Ciclovía da avenida Augusto Franco	77
4.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO IMPACTO SONORO DAS CICLOVIAS ANALISADAS.....	78
5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	83
REFERÊNCIAS.....	85
APÊNDICE A – DADOS COLETADOS DE TODAS AS CICLOVIAS ANALISADAS ...	91

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo Abrantes (2022), o sistema ciclovitário de mobilidade tem sido incentivado como alternativa ao trânsito intenso de veículos motorizados nas cidades, e como medida de promoção do bem-estar e da saúde aos seus usuários. Assim, diversos são os fatores que justificam o incentivo do uso da bicicleta como alternativa de mobilidade urbana, tais como: baixo custo de aquisição e manutenção em comparação com veículos automotores, contribuição para a redução de emissões de poluentes, benefícios para o meio ambiente e promoção de exercício físico regular para melhorar a qualidade de vida dos usuários (ABRANTES, 2022).

Outro fator que promove o uso de bicicletas está na promulgação da Lei Federal Nº 12.587, de 03 de janeiro de 2012, a qual instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012), estabelecendo diretrizes claras e fornecendo segurança jurídica para que os municípios pudessem adotar medidas que priorizassem os modos de transporte não motorizados e coletivos em detrimento do transporte individual motorizado, impulsionando o aumento do uso de bicicletas como meio de transporte, prática de atividades esportivas, de saúde e lazer. Mesmo em cidades onde não há uma política municipal estabelecida para a incorporação das bicicletas no sistema de mobilidade urbana, seu uso está crescendo (BOARETO, 2021).

No entanto, esse incentivo tende a ignorar o fato de que os usuários de bicicleta estão mais expostos aos agentes agressores do meio urbano como os poluentes atmosféricos e ruídos provocados pelo tráfego de veículos (RAMOS, 2017). Estudos como o de Balzan *et al.* (2020) e Lu *et al.* (2019), reforçam que a contribuição do tráfego veicular é relevante para a poluição sonora dentro do ambiente urbano. Outro fator contribuinte é o crescimento rápido da cidade em um curto período, que acaba contribuindo para o surgimento de novas fontes de ruído no local (FERNANDES e TORRES, 2014).

No levantamento realizado através do trabalho de Ladeia (2019) é destacado que a poluição sonora é a terceira maior forma de poluição global, prejudicando a saúde humana com sintomas como cefaleias, irritabilidade e insônia; e o trânsito é uma fonte significativa de ruído em vários locais. Assim sendo, o ruído urbano é identificado como a principal causa de poluição sonora, aumentando o risco de desenvolvimento de várias doenças associadas.

Rodríguez *et al.* (2017) ainda reforça que o tráfego veicular é a principal fonte de poluição sonora nas cidades, e a exposição a sons não desejados e potencialmente prejudiciais à saúde, afeta negativamente os ciclistas urbanos. A Organização Mundial de Saúde (OMS)

recomenda que os níveis médios de ruído em 24 horas não ultrapassem 50 *decibels* em zonas residenciais e 70 *decibels* em zonas industriais, comerciais e de alto tráfego (RODRÍGUEZ et al, 2017). No entanto, em estudos realizados por Ramos (2017), Davel (2020) e Gelb e Apparicio (2022) revelam que os usuários desse sistema de transporte estão expostos a níveis mais elevados do que os limites estabelecidos por norma específica.

Ainda com relação ao ruído, através dos resultados apresentados por Sakai *et al.* (2019), é possível inferir que a percepção de incômodo sonoro da população está relacionada à presença de vias de grande fluxo de veículos e pessoas, localizadas em áreas como o centro da cidade. Outro exemplo está na cidade de Bogotá, onde os níveis de ruído nas proximidades de vias com alto fluxo de veículos atingem entre 71 e 82 *decibels*, o que significa que os ciclistas podem estar sujeitos a níveis de ruído prejudiciais à saúde (RODRÍGUEZ et al., 2017).

Nesse contexto de uso das bicicletas como forma de mobilidade, a cidade de Aracaju, capital do estado de Sergipe, tem se destacado, sendo a primeira cidade na região Nordeste e a terceira no *ranking* nacional em termos de proporção de bicicletas por população, conforme Pereira (2021). Este dado levanta questionamentos quanto à qualidade das vias destinadas ao uso de bicicletas, considerando aspectos físicos como o ruído urbano. A análise da exposição do ciclista aos ruídos causados pelo tráfego veicular nas vias urbanas torna-se relevante, uma vez que essa abordagem é fundamental para o desenvolvimento de soluções que visem minimizá-los (RAMOS, 2017).

Inserida nesta temática, essa pesquisa busca avaliar o impacto sonoro em ciclovias da cidade de Aracaju/SE. Para tanto, houve a delimitação do tema por revisão bibliográfica. Na metodologia, dados de tráfego foram coletados na Secretária Municipal de Transportes e trânsito / Prefeitura Municipal de Aracaju (SMTT/PMA) e pontos de coleta foram georreferenciados para posterior coleta de dados em dias típicos da semana. As coletas de dados incluíram medições de níveis de pressão sonora, levantamentos das dimensões e das características físicas de interesse das ciclovias e entorno imediato, dados do tráfego veicular, sendo utilizadas como orientação metodológica, técnicas pertinentes e trabalhos correlatos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar o impacto sonoro em ciclovias na cidade de Aracaju/SE.

1.2.2 Objetivos específicos

Estudar os critérios adotados para implantação de ciclovias na cidade de Aracaju – Sergipe.

Identificar as principais ciclovias impactadas na cidade de Aracaju/SE.

Verificar como características físicas das ciclovias e do tráfego veicular influenciam no impacto sonoro dos seus usuários.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para melhor compreensão da dissertação, a mesma foi estruturada em seis capítulos, tais como: Capítulos 1, abordando a Introdução e os objetivos do trabalho, Capítulo 2 - Revisão de literatura, abordando os temas "Mobilidade Urbana", "Ruído Urbano e Poluição Sonora", "Descritores acústicos para avaliação de ruído de tráfego veicular", "Normas e Legislações pertinentes", "Consideração do fator ruído no planejamento de ciclovias", "Impacto do ruído no ser humano", Capítulo 3 - Materiais e Métodos, Capítulo 4 - Resultados e Discussão, por fim, Capítulo 5 - Conclusão e sugestões para trabalhos futuros. Além disso, todos os dados coletados estão disponíveis no "Apêndice A".

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 MOBILIDADE URBANA

A população urbana lida com a rotina de se deslocar em meio ao tráfego intenso, independentemente do meio de transporte utilizado ou da distância percorrida. No entanto, a qualidade de vida da população, a economia e o meio ambiente são afetados pela forma como o sistema de transporte é gerenciado. Isso mostra como é importante cuidar da gestão do sistema de transporte para minimizar seus efeitos negativos na sociedade (SENNÁ, 2014).

Parte da origem desses efeitos negativos está no rápido processo de urbanização, o crescimento da população e da frota de veículos e a preferência pelo transporte individual em detrimento do coletivo, contribuindo significativamente, para o aumento da poluição sonora nas cidades de médio e grande porte (GUEDES, 2018).

Segundo Luft (2020) dentre as alternativas de transporte o uso de bicicletas para pequenos trajetos torna-se viável em áreas que apresentam topografia e infraestrutura urbana que facilite o deslocamento, principalmente em zonas de uso misto, destacando que essas alternativas são capazes de contribuir para o alívio do tráfego veicular e seus impactos negativos na qualidade de vida da população.

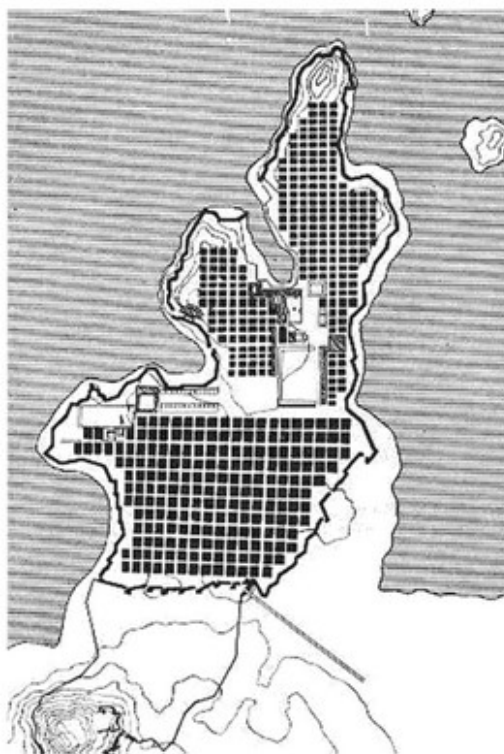
2.1.1 Evolução e tipos de meios de transporte

Segundo Lima *et al.* (2020) cada época determina sua própria tipologia urbanística, baseada nos hábitos e costumes da população. Na Idade da Pedra, as pessoas eram nômades e se deslocavam constantemente para evitar o esgotamento dos recursos naturais. Com o transcurso do tempo passaram a se fixar em locais específicos, dando origem aos primeiros aglomerados urbanos, chegando até a Idade Média, onde o traçado das cidades valorizava mais as pessoas, com ruas estreitas e tortuosas que levavam a uma grande praça onde havia feiras e igrejas. Sendo assim, com o passar dos séculos e o desenvolvimento da tecnologia, a tipologia urbana começou a se modificar, sendo influenciada pelo surgimento dos veículos motorizados e pela preocupação com a higiene na cidade (LIMA *et al.*, 2020).

Lopes, Martorelli e Vieira (2021) destacam a importância dos deslocamentos humanos ao longo da história, especialmente nas cidades, e como as preocupações com distância, percurso, tempo e segurança acompanham a evolução e as tendências da urbanização. O ato de caminhar foi a primeira forma de deslocamento e o pedestre é a primeira referência para as

discussões relacionadas à circulação. Com a invenção da roda houve um divisor de águas no avanço das formas de deslocamento e as cidades da Antiguidade já apresentavam preocupações com o ordenamento do espaço físico da circulação. Na Figura 1, é apresentado o modelo de cidade originário de Mileto que foi aplicado em outras cidades, tendo quatro características essenciais: a ausência de áreas fechadas, a divisão em espaços privados, sagrados e públicos, a integração com a paisagem natural e a imposição de um limite populacional para novas cidades (LOPES; MARTORELLI; VIEIRA, 2021).

Figura 1-Cidade de Mileto, século V a.c.

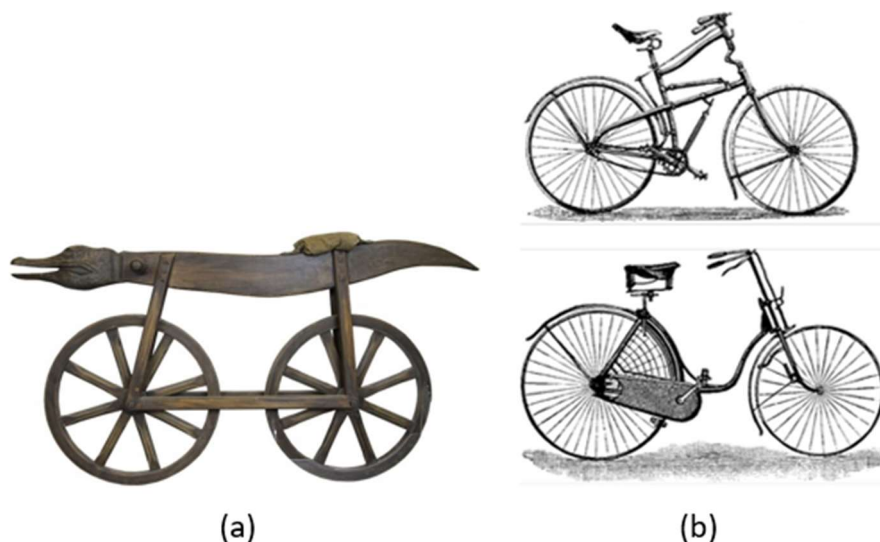


Fonte: LOPES, MARTORELLI e VIEIRA (2021)

A Revolução Industrial (século XIX) marcou uma nova era na história urbana, trazendo mudanças nos deslocamentos urbanos e a necessidade de transporte público. O bonde e o ônibus foram desenvolvidos como formas iniciais de transporte coletivo, com o bonde evoluindo de veículo de tração animal para uso de vapor e eletricidade, tornando-se uma opção eficiente para locomoção urbana. A bicicleta também desempenhou um papel crucial, desde suas formas primitivas até sua evolução para o modelo atual, sendo Paris a primeira cidade a estabelecer ciclovias. Além disso, a bicicleta se insere nesse contexto como um dos principais veículos de

transporte urbano, evoluindo desde o celerífero¹ (Figura 2a) até às bicicletas seguras (Figura 2b), ganhando popularidade no século XIX (LOPES, MARTORELLI e VIEIRA, 2021).

Figura 2-Celerífero e bicicleta segura



Fonte: Adaptado de a) <https://mobikers.com.br/cultura/pedalando-nem-sempre-pela-historia-como-surgiu-a-bicicleta/> (2023) e b) Lopes, Martorelli e Vieira (2021)

Ainda com relação ao desenvolvimento industrial, os autores Rubim e Leitão (2013), destacam que a expansão do uso do carro trouxe benefícios ao desenvolvimento tecnológico e econômico das cidades, mas também gerou consequências negativas que persistem até hoje, como a poluição do ar e sonora, congestionamentos e acidentes de trânsito, além do consumo de recursos naturais e danos diretos à saúde. No Brasil, a preferência pelo transporte rodoviário começou a ser dada a partir da Constituição de 1934, acompanhada pela introdução da indústria automobilística em 1956 e por políticas públicas de incentivo aos veículos automotores. Entretanto, o uso excessivo do automóvel tornou-se um problema sério nos grandes centros urbanos, levando a discutir os impactos sociais, ambientais e de saúde gerados pelo seu uso (RUBIM e LEITÃO, 2013).

De acordo com Cichella, Rodrigues e Júnior (2021) o incentivo às indústrias automotivas aliado ao fortalecimento do modelo de rodovias federais levou ao aumento do uso do automóvel nas grandes cidades, o que foi intensificado pelo crescimento populacional impulsionado pela migração do campo para a cidade. Ainda segundo os autores, a péssima qualidade dos transportes coletivos, a política de créditos facilitados ao consumidor e os

¹ De acordo com LOPES *et al.*, 2021: “Um “veículo em madeira com duas rodas interligadas por uma viga e um suporte para o apoio das mãos e acionado por impulso alternado dos pés sobre o chão.”

incentivos fiscais na produção de veículos automotores também contribuíram para o aumento da frota brasileira de veículos, que em dezembro de 2022, alcançou cerca de 115 milhões de veículos, conforme Tabela 1. Esse modelo de urbanização, que privilegia os condutores de automóveis, face outros meios de transporte mais eficientes têm causado problemas sociais, econômicos e ambientais, tornando-se necessário o incentivo a meios de transporte alternativos, como a bicicleta, para promover a mobilidade urbana sustentável (CICHELLA, RODRIGUES e JÚNIOR, 2021).

Tabela 1-Tipos e quantidade de veículos.

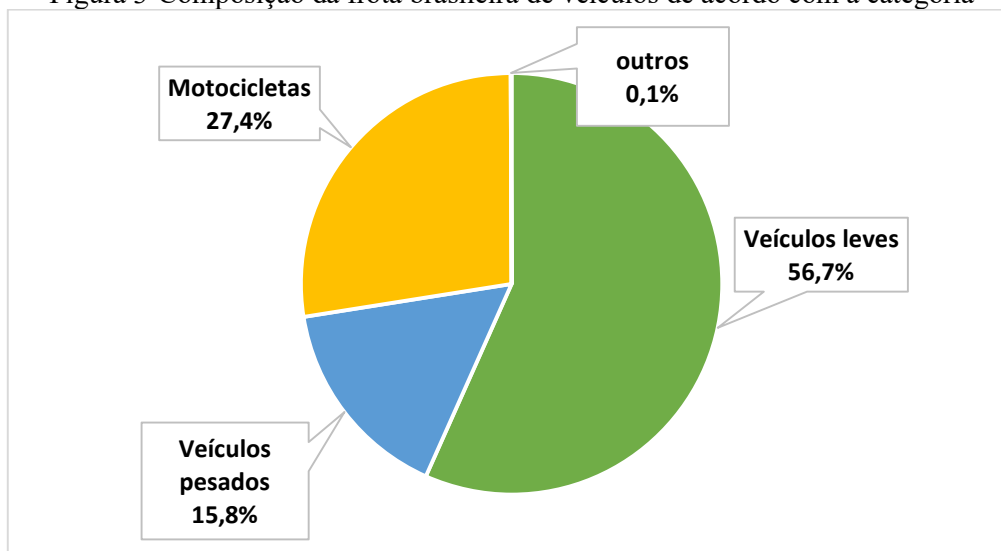
Tipo de veículo	Quantidade / Dez 2022
Automóvel	60.459.290
Bonde	42
Caminhão	3.022.315
Caminhão trator	849.372
Caminhonete	9.078.740
Caminhoneta	4.102.821
Chassi plataforma	1.650
Ciclomotor	452.778
Mico ônibus	434.708
Motocicleta	25.746.762
Motoneta	5.372.584
Ônibus	688.880
Quadriciclo	282
Reboque	2.119.968
Semi reboque	1.226.863
Sidecar	8.576
Outros	30.579
Trator esteira	234
Trator rodas	36.433
Triciclo	42.421
Utilitário	1.441.234
Total	115.116.532

Fonte: Adaptação de Senatran, 2022

A partir da resolução CONTRAN nº 798, de 02 de setembro de 2020 (BRASIL, 2020), a qual classifica os veículos a partir de categorias (veículo leve e veículo pesado) e ainda através de trabalhos acadêmicos sobre a avaliação do impacto sonoro do tráfego veicular, foi elaborado gráfico, conforme a Figura 3, onde é possível visualizar a composição por categoria de veículo (veículos leves, veículos pesados, motocicletas e outros) elaborada com base nos dados da

Tabela 1 e de acordo com os critérios mencionados. Ainda com relação a Figura 3, observa-se maior predominância dos veículos leves, com 56,7 %, seguido de motocicletas, com 27,4%, por fim, os veículos pesados, com 15,8% do total da frota de veículos. Outras categorias de veículos expressam uma porcentagem pequena de 0,1%.

Figura 3-Composição da frota brasileira de veículos de acordo com a categoria



Fonte: Adaptação Senatran, 2022

Como afirmam Cichella, Rodrigues e Júnior (2021), o impacto do trânsito na sociedade tem uma relação histórica com a mobilidade urbana e a própria humanidade, desde a invenção da roda até a popularização do automóvel. Entretanto, o aumento do transporte individual e a falta de políticas públicas de mobilidade urbana sustentável levaram a problemas sociais, econômicos e ambientais, como a segregação das pessoas, acidentes de trânsito, congestionamentos, gastos com veículos e combustível, entre outros. Nesse sentido, o conceito de mobilidade urbana sustentável surge, sendo a bicicleta uma alternativa mais acessível e responsável, sendo necessário, portanto, o desenvolvimento de políticas públicas que favoreçam o uso da bicicleta como meio de transporte alternativo (CICHELLA, RODRIGUES e JÚNIOR, 2021).

Por ser uma das alternativas e se tratar de tema mais amplo, o item mobilidade urbana sustentável será tratado com maior profundidade a seguir.

2.1.2 Mobilidade urbana sustentável

A Lei Federal Nº 12.587 que instituiu a Política Nacional de Mobilidade Urbana (BRASIL, 2012), embasada nas diretrizes constitucionais e no Estatuto da Cidade, através da

Lei Complementar do município de Aracaju/SE de nº 42 de 04 de outubro de 2000 e suas atualizações (BRASIL, 2000), buscam integrar os meios de transporte e melhorar a acessibilidade e a mobilidade do município. Em conjunto, o objetivo dessas políticas é proporcionar acesso equitativo à cidade, alinhando-se aos princípios do desenvolvimento urbano por meio de um planejamento participativo do Sistema Nacional de Mobilidade Urbana. Esse sistema abrange modalidades motorizadas e não motorizadas, serviços de transporte categorizados por objeto, característica e natureza, além de infraestruturas como vias, terminais e sistemas de controle, com o propósito de garantir deslocamentos eficientes e justos para toda a população na área urbana (BRASIL, 2012).

Tal alinhamento atende aos princípios estabelecidos pelas Nações Unidas, dentro do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável de número 11 (ODS 11), que visam garantir acesso à mobilidade urbana sustentável por meio de políticas públicas alinhadas com o desenvolvimento inclusivo, seguro e sustentável, sendo crucial considerar a relevância do estudo e da promoção do transporte público de massa (ONU, 2015). Este meio, amplamente difundido e acessível nos centros urbanos, requer ação da administração pública para a implementação de políticas de incentivo (ONU, 2015).

Devido ao rápido crescimento urbano e ao aumento do número de veículos, tornou-se necessário nos últimos anos adaptar as infraestruturas para lidar com esse aumento, investindo em melhorias nas ruas, avenidas e rodovias a fim de acomodar o crescente tráfego, especialmente em países em desenvolvimento (RAMOS, 2017). No entanto, a combinação de crescimento acelerado e falta de planejamento urbano adequado muitas vezes resulta em congestionamentos e perda de tempo nas vias, o oposto do que era esperado inicialmente, enquanto as opções de transporte público e meios não motorizados frequentemente são negligenciadas pelo poder público, em alguns casos, praticamente inexistentes (RAMOS, 2017).

No tocante ao Brasil, existem vários exemplos de aplicabilidade do conceito de mobilidade urbana em diferentes estágios de desenvolvimento. Schmal (2018) analisa como o Plano de Mobilidade de São Paulo, o qual incorpora princípios de mobilidade urbana sustentável, comparando-o com planos de Londres e Barcelona. Identifica que, embora São Paulo esteja alinhado com diretrizes nacionais e apresente avanços notáveis, há áreas para melhoria, como a restrição de veículos poluentes e maior ênfase no bem-estar social. Aponta desafios na implementação, como instabilidade política e falta de indicadores atualizados, ressaltando a necessidade de responsabilidades políticas contínuas e planos de metas de médio

e longo prazo. O estudo sugere a continuidade da investigação para aprofundar a mobilidade urbana sustentável e atualizar as políticas conforme a evolução das cidades.

Vasconcellos (2019) destaca a implementação pioneira do inovador sistema de transporte coletivo em Curitiba nos anos 1970, reconhecido globalmente como um modelo a ser seguido. Entretanto, após duas décadas, o sistema começou a demonstrar sinais de saturação, evidenciados no declínio significativo de passageiros no final dos anos 2000. Apesar da expansão da rede para a área metropolitana, críticas crescentes surgiram, inclusive com propostas não justificáveis, como a construção de um metrô. A mesma pesquisa destaca através de uma análise comparativa a partir de dados de 2017, onde foi constatado que o uso do automóvel superou o do sistema de ônibus, revertendo expectativas iniciais e evidenciando desafios contínuos para a mobilidade urbana em Curitiba.

Boareto (2021) discute a questão do financiamento da operação de transporte público, destacando três aspectos fundamentais: a apropriação adequada dos custos, a identificação de diferentes fontes de financiamento e o modelo de remuneração dos operadores. O objetivo é encontrar soluções para diminuir os preços na cadeia de fornecimento de insumos e forçar a redução dos custos empresariais, além de buscar alternativas para complementar ou substituir a tarifa paga pelos usuários. O autor ressalta a importância de uma gestão pública eficiente e de fontes de recursos extra tarifários para aprimorar os serviços.

Silva (2021) destaca que a mobilidade urbana sustentável tem sido objeto de estudo em pesquisas nacionais e internacionais, mas há uma lacuna em relação ao perfil dos deslocamentos em cidades de pequeno porte. Com o objetivo de preencher essa lacuna, o autor realizou um estudo de caso na cidade de Piratininga-SP, em que identificou os meios de transporte mais utilizados, fatores que influenciam as escolhas dos meios de transporte e as barreiras para o uso de meios de transporte ativos e mais sustentáveis. Os resultados mostraram que a utilização do automóvel é predominante para todas as atividades, exceto para lazer e recreação aos finais de semana, que é realizada predominantemente a pé. Os principais fatores que influenciam a escolha dos meios de transporte são a rapidez, flexibilidade de horário e fácil acesso, enquanto os fatores que se tornam barreiras para a utilização de meios de transporte ativos são o desgaste físico, segurança, condições ambientais desfavoráveis e a falta de bicicletas.

Cichella, Rodrigues e Júnior (2021) mencionam que a bicicleta é um meio de transporte viável para distâncias curtas e médias, sendo uma opção importante para uma mobilidade urbana saudável, acessível e ambientalmente responsável. É necessário conscientizar a sociedade sobre a importância de políticas públicas que favoreçam o uso de bicicletas como alternativa ao transporte individual e para o desenvolvimento de um espaço urbano sustentável.

A bicicleta se destaca face a outras modalidades de transporte devido a diversos motivos: praticidade, tamanho, possibilidade de deslocamento em locais congestionados, redução na maioria dos casos no tempo de viagem. Além dessas vantagens, a bicicleta é um bem de relativa facilidade de aquisição e manutenção quando comparado aos veículos automotores (CICHELLA, RODRIGUES e JÚNIOR, 2021).

Pereira (2021), através de pesquisa descritiva, propôs uma estimativa de frotas de bicicletas, tomando como base a Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), entre 2017 e 2019, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Com base nessa estimativa três capitais brasileiras se destacam quando se avalia a taxa capital *versus* taxa do respectivo estado: Aracaju, Belém e Recife, são as que se destacam por terem mais bicicletas.

A base de dados permitiu estipular a quantidade de bicicletas no Brasil, regiões, estados e capitais. Na Tabela 2 é apresentado a estimativa de frota na região Nordeste e seus respectivos estados.

Tabela 2-Estimativa de frota de bicicletas na região Nordeste

Estados	Ranking Estados	Bicicletas	População	Bici/Pop
Região Nordeste		6.913.351	56.760.780	0,12
Alagoas	25	330.289	3.322.820	0,10
Bahia	21	1.849.032	14.812.617	0,12
Ceará	17	1.232.499	9.075.649	0,14
Maranhão	24	764.799	7.035.055	0,11
Paraíba	26	386.423	3.996.496	0,10
Pernambuco	23	1.093.810	9.496.294	0,12
Piauí	14	470.771	3.264.531	0,14
Rio Grande do Norte	19	457.344	3.479.010	0,13
Sergipe	15	328.384	2.278.308	0,14

Fonte: Adaptado de Pereira, 2021

Essa forte utilização é comprovada no levantamento realizado pela Ong Ciclo Urbano em abril de 2014 (PMDU, 2015), onde analisou o uso da bicicleta como meio de transporte em Aracaju, especialmente nos deslocamentos casa/trabalho e trabalho/casa. A pesquisa conduzida no cruzamento de duas importantes avenidas que concentram um alto fluxo de veículos, pedestres e ciclistas, essa rota tem ligação direta com a zona de concentração do comércio da cidade, a Augusto Franco e a Gonçalo Rollemberg Leite. A pesquisa visou identificar o fluxo de ciclistas, trajetos percorridos, tipos de bicicletas, uso de capacete, presença de carona e o gênero dos ciclistas.

A Avenida Augusto Franco liga a zona oeste a zona sul da cidade (local com alta concentração de serviços), possui ciclovia em toda sua extensão e fica inserida em uma área classificada como de uso misto: presença de residências e comércio. Essa avenida concentra grande movimentação de usuários sendo uma das vias de maior movimentação da cidade.

Já a Avenida Gonçalo Rollemberg é de extensão menor, porém também possui ligação a zona de concentração de comércio da cidade. Essa avenida por sua vez não possui ciclovia.

Entre as capitais do Nordeste, Aracaju se destaca como a cidade com a maior proporção de bicicletas por população, estimada em quase 125 mil bicicletas, o que representa aproximadamente 19 bicicletas para cada grupo de 100 habitantes, conforme detalhado na Tabela 3. Essa colocação a posiciona como a terceira cidade com maior quantidade de bicicletas por habitante no cenário nacional, ficando atrás apenas de Vitória e Campo Grande.

Tabela 3-Estimativa de frota de bicicletas nas capitais do Nordeste

Capitais	Ranking Capitais	Bicicletas	População	Bici/Pop
Maceió	21	100.240	1.012.382	0,10
Salvador	24	242.892	2.857.329	0,09
Fortaleza	14	317.542	2.643.247	0,12
São Luís	25	75.851	1.094.667	0,07
João Pessoa	19	80.805	800.323	0,10
Recife	8	252.436	1.637.834	0,15
Teresina	22	78.695	861.442	0,09
Natal	23	77.522	877.640	0,09
Aracaju	3	124.674	648.939	0,19

Fonte: Adaptado de Pereira, 2021

Ao analisar o cenário da posição da cidade de Aracaju frente a quantidade de usuários de bicicletas, é possível inferir que políticas públicas voltadas a esse tipo de transporte é de extrema necessidade, uma vez que os critérios adotados para implantação de ciclovias no Brasil não abrangem todas as medidas de proteção dos impactos negativos que o ambiente urbano pode causar, dentre elas, o ruído.

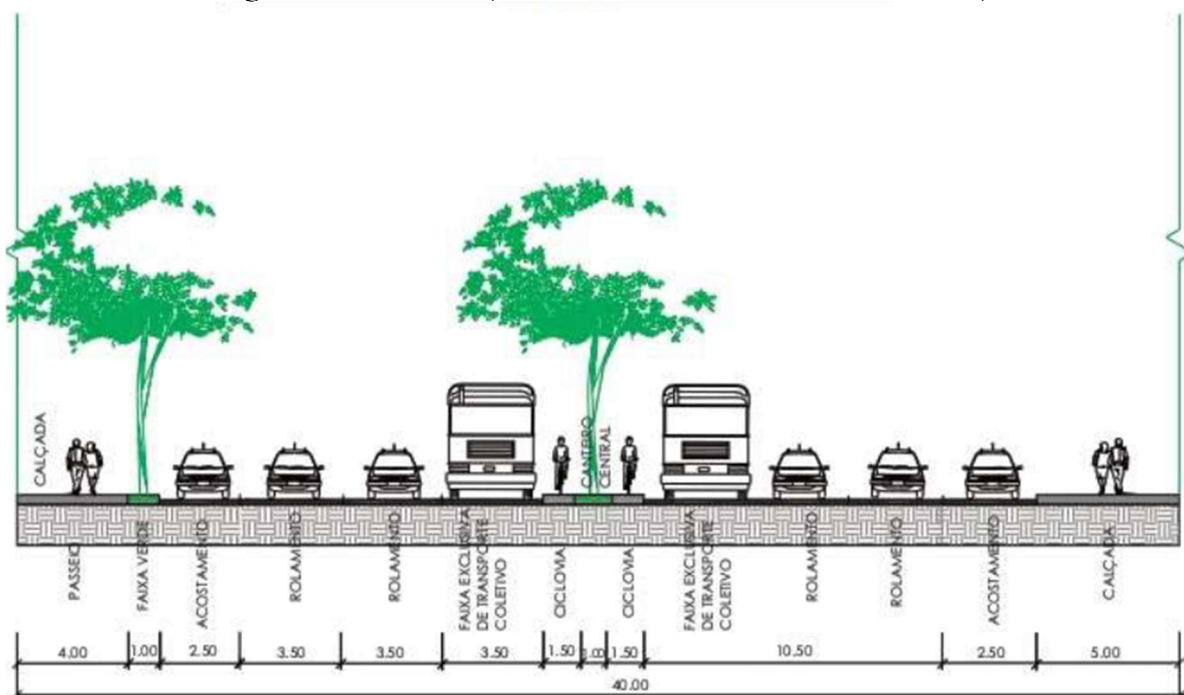
2.1.3 Critérios adotados para implantação de ciclovias na cidade de Aracaju/SE

O Plano Diretor de Mobilidade Urbana (PDMU) tornou-se obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes, substituindo a exigência anterior para cidades maiores. Aracaju,

dentro desse critério, revisou seu PDMU em 2015, alinhando-o à Política Nacional de Desenvolvimento Urbano e Mobilidade Urbana Sustentável. Essa revisão focou na melhoria da circulação urbana, segurança viária e na reorientação do modelo de urbanização. O documento aponta a necessidade de uma revisão mais abrangente priorizando o transporte não motorizado de maneira sustentável, sujeita à avaliação legislativa para aprovação. Essa atualização é crucial para acessar recursos federais destinados à mobilidade urbana e promover o desenvolvimento sustentável da cidade (PDMU, 2015).

O PDMU de Aracaju visa incentivar meios de transporte não motorizados, especialmente a bicicleta, conforme esquematizado na Figura 4, integrando-a ao sistema viário por meio de ciclovias. No entanto, a segurança dos ciclistas é uma preocupação, exigindo infraestruturas adequadas, como ciclovias e bicicletários. A bicicleta ganhou popularidade na cidade devido à sua acessibilidade, refletida em cerca de 106 km de ciclovias e ciclo faixas, oferecendo opções de deslocamento, conforme informações do site Ciclomapa (CICLOMAPA, 2024).

Figura 4-Via arterial I (Plano diretor de desenvolvimento urbano)

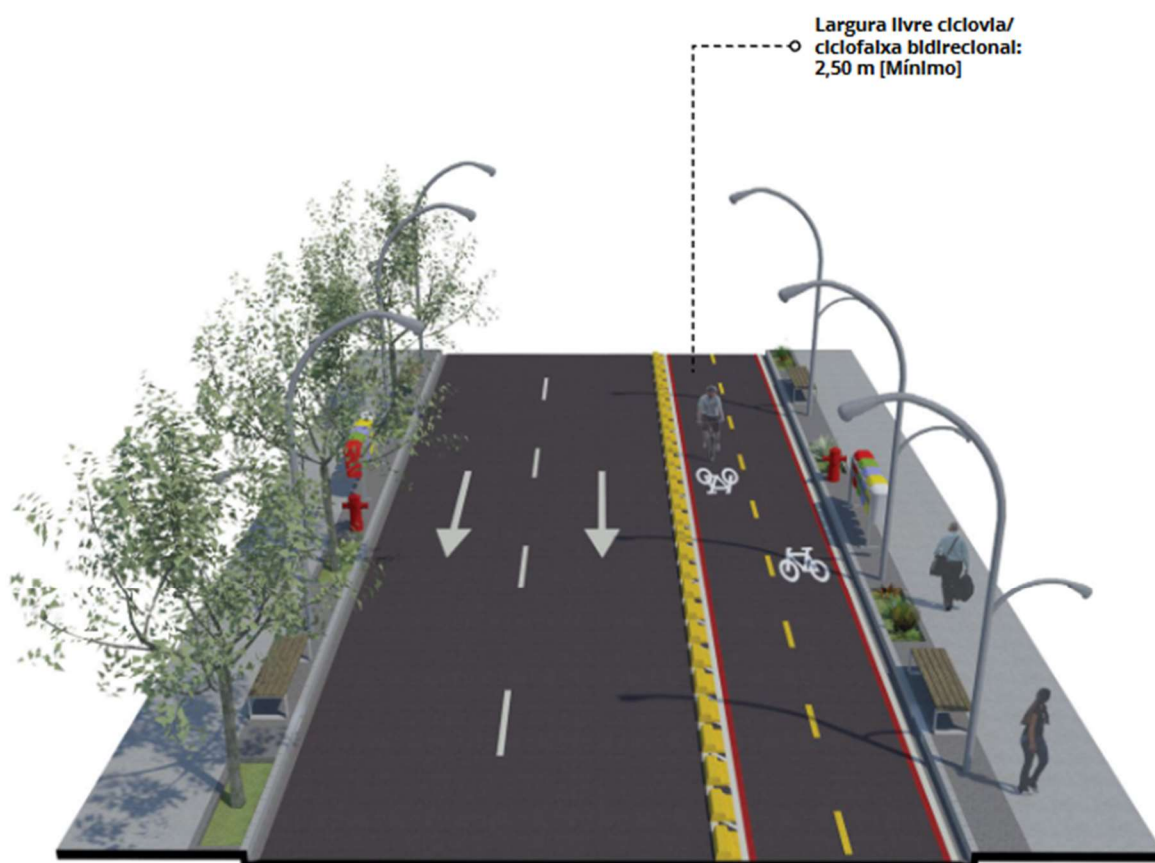


Fonte: <https://www.aracaju.se.gov.br/pddu/> (2021)

Ainda com relação à Figura 4, é apresentado o modelo de planejamento de uma via arterial em corte, com previsibilidade de implantação de ciclovia centralizada ao trânsito local. O mesmo plano não faz menção à proteção e/ou à adoção de melhores práticas aos ciclistas expostos ao ambiente ruidoso.

De forma semelhante, os critérios apresentados pelo Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Transporte Ativo do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR, 2017) oferece diretrizes importantes para infraestruturas de transporte ativo, como ciclovias, porém, falha ao negligenciar a proteção dos ciclistas em relação ao ruído. Esta omissão representa uma lacuna significativa na consideração da segurança e bem-estar dos usuários de bicicleta, indicando a necessidade urgente de incluir diretrizes para mitigar o ruído do tráfego e garantir uma experiência mais segura e saudável para os ciclistas nas vias urbanas. Na Figura 5, um exemplo esquemático para implantação de ciclovia/ciclofaixa a ser implantado, utilizado como modelo o Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana.

Figura 5-Esquema para implantação de ciclovia/ciclofaixa



Fonte: MDR, 2017

A implementação de infraestrutura ciclovária é crucial para fomentar a mobilidade sustentável e segura nas cidades. O Caderno Técnico para Projeto de Mobilidade Urbana – Transporte Ativo do Ministério do Desenvolvimento Regional considera uma variedade de aspecto como sinalização horizontal, largura e limites de velocidade. No entanto, a proteção contra ruídos é frequentemente negligenciada nesse processo. Embora ciclovias e ciclofaixas sejam planejadas levando em conta a segurança dos ciclistas e outros elementos como

integração com transporte coletivo e dimensões adequadas, a questão do ruído muitas vezes não recebe a devida atenção. Isso pode afetar negativamente a experiência dos usuários das ciclovias, causando desconforto e representando um risco à saúde, especialmente em áreas próximas a tráfego intenso de veículos.

Segundo Andrade (2018), apesar do respaldo legal do Plano Diretor, a prática revela uma discrepância nos investimentos públicos em mobilidade urbana, nos últimos 10 anos, os recursos direcionados aos modos de locomoção humana foram drasticamente inferiores aos investimentos em vias para veículos particulares. Na pesquisa de Andrade (2018) são citados como exemplos três viadutos construídos na avenida Tancredo Neves (uma das avenidas de maior movimentação da cidade), e uma ponte conectando bairros, acompanhados por uma nova via para veículos motorizados que custaram milhões de reais por meio de um empréstimo do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), enquanto apenas 3 quilômetros de novas ciclovias foram construídos na cidade durante o mesmo período, com intervenções pontuais nas existentes. Esta disparidade evidencia falhas na gestão pública de Aracaju, relacionadas ao planejamento urbano, ordenamento do espaço e questões legais e institucionais no que diz respeito aos meios de locomoção movidos por propulsão humana (ANDRADE, 2018).

Esta situação foi corroborada por Miranda e Saavedra (2022), onde foi constatado que a falta de infraestrutura adequada é um dos principais obstáculos para a inserção da bicicleta no transporte urbano. Ainda é apresentada pelos autores uma reflexão sobre a bicicleta como meio de transporte nas cidades, questionando as razões pelas quais a bicicleta não tem, nos países em desenvolvimento, o mesmo apelo que ocorre em países desenvolvidos, como, Dinamarca e Alemanha, por exemplo. Miranda e Saavedra (2022) ainda apontam que a indústria automobilística ainda tem um grande peso em países em desenvolvimento, e que a demanda por carros é tão forte que fragiliza qualquer tendência voltada para a bicicleta.

No entanto, a juventude tem resistido a essa lógica e está buscando reverter essa situação por meio de protestos, construção de ciclo faixas e outras ações. O trabalho também enfatiza a importância de se estabelecer a bicicleta como um meio de transporte sustentável e saudável, e defende que é preciso ocupar o espaço público para reivindicar mais e melhores espaços para a bicicleta (MIRANDA e SAAVEDRA, 2022).

No estudo realizado por Olekszechen, Battiston e Kuhnen (2016), foi evidenciado que as ciclovias são de extrema importância para a redução do fluxo de veículos motorizados e prevenção de acidentes, além de diminuir os congestionamentos e melhorar a qualidade de vida da população. É necessário um processo de planejamento, licitação, construção, avaliação e manutenção constante das vias cicláveis, para que pedestres, ciclistas e motorizados possam

conviver harmoniosamente. A implantação de corredores cicláveis é uma medida importante para atender à população quanto ao custo, tempo e estresse, além de utilizar um modal de transporte saudável e ambientalmente sustentável. A Pedagogia Cidadã é uma forma de conscientização para que novas atitudes reivindicatórias possam ser concretizadas. A construção de vias cicláveis seguras contribui para a redução dos gases de efeito estufa e é fundamental para o desenvolvimento de políticas de mobilidade sustentável nas áreas urbanas (OLEKSZECHEN, BATTISTON e KUHNEN 2016).

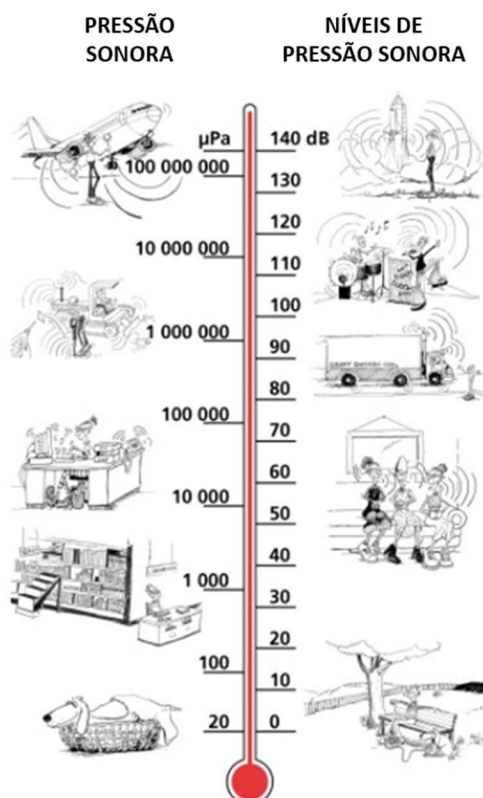
Alves (2021) mostra que a tomada de decisão no âmbito das políticas públicas visa proporcionar benefícios para a sociedade, porém, exige a análise de viabilidade e das características locais e regionais. Assim, o tráfego intenso nas cidades, que é predominantemente composto por veículos automotores, representa um problema global que acarreta prejuízos econômicos e perdas de vidas. Com o intuito de mitigar essa questão na cidade de Palmas (TO), os autores propõem alternativas de mobilidade urbana que podem contribuir para a redução do uso de automóveis e para a melhoria da qualidade de vida da população. Em síntese, comentam sobre ações governamentais precedidas pelo conhecimento das percepções dos usuários que utilizam a bicicleta como meio de transporte.

2.2 RUÍDO URBANO E POLUIÇÃO SONORA

2.2.1 Conceitos e aspectos gerais

De acordo com Bistafa (2018), o som é definido como a sensação auditiva resultante de vibrações do ar, enquanto o ruído é considerado um som indesejável, variando sua percepção conforme o contexto. A geração adequada de som envolve condições específicas, como a correta indução de vibrações. O ruído, embora possa ter aplicações úteis, como alertas de emergência, frequentemente causa efeitos indesejáveis, como perda auditiva e estresse. A eliminação total do ruído não é viável nem desejável, dada a presença inevitável do ruído residual. Portanto, o objetivo principal é controlar o ruído, minimizando-o até que não seja mais perceptível acima do ruído residual, em vez de buscar sua completa eliminação, que geralmente é impraticável e dispendiosa. A gestão adequada do ruído visa a redução dos efeitos negativos, mantendo um equilíbrio entre a necessidade de silêncio e a presença de sons ambientais toleráveis, uma vez que o ruído urbano é composto de vários sons com diferentes níveis de pressão sonora conforme ilustra a Figura 6 (BISTAFA, 2018).

Figura 6-Valores de pressão sonora e nível de pressão sonora entre o limiar da audição e o limiar da dor.

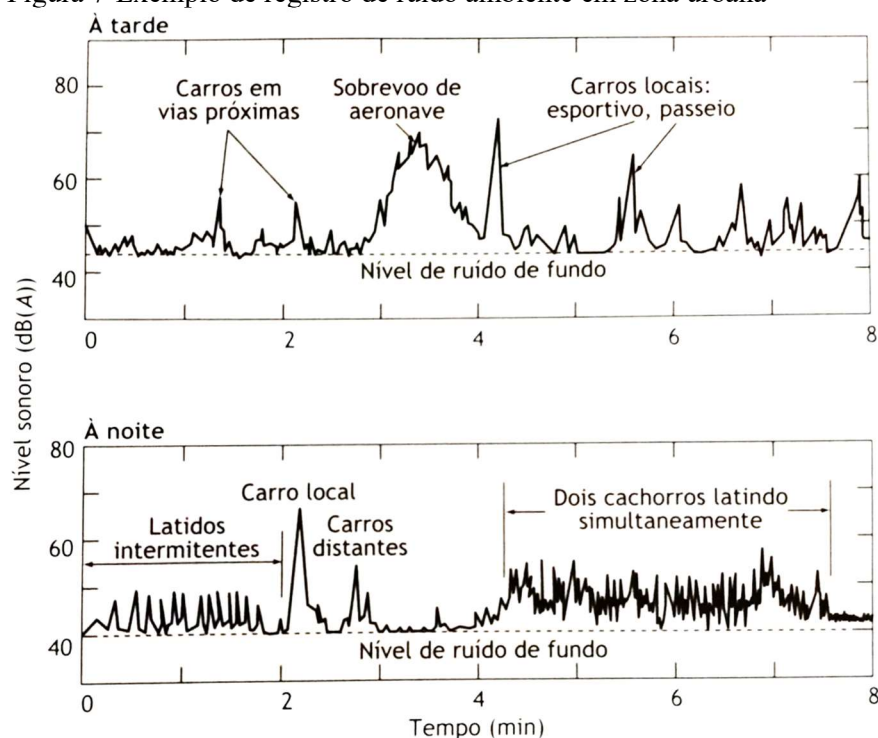


Fonte: Adaptado de Brüel e Kjaer (2000)

Murgel (2007), a fim de esclarecer alguns conceitos básicos de acústica, com aplicação aos estudos ambientais, discute a analogia entre a pressão sonora e uma pedra lançada ao lago, destacando que a intensidade do som está relacionada à quantidade de energia presente. Sendo assim, o som é percebido como vibrações que geram variações de pressão no ar, sendo o ouvido humano sensível a variações mínimas, com a ampla gama de pressões sonoras audíveis. A escala decibel (dB) foi desenvolvida para facilitar a medição e compreensão dessas variações, conforme Figura 6, diante da complexidade das medições diretas de pressão sonora.

A fim de caracterizar o ruído urbano, Bistafa (2018), exemplifica através da Figura 7 registros de ruído em uma área urbana próxima a uma via de tráfego revelando variações significativas nos níveis de ruído, com um nível de ruído residual constante ao longo do tempo, provavelmente originado por diversas fontes combinadas, como tráfego de veículos distantes, ruído do movimento da vegetação pelo vento e outras fontes. Esses registros indicam um nível de ruído residual em torno de 44 dB ponderados na curva A à tarde e cerca de 40 dB ponderados na curva A à noite, com uma variação de aproximadamente 30 dB nos níveis sonoros, destacando ruídos intrusivos associados a eventos específicos e sua duração, influenciando o grau de incômodo. A Figura 7 ainda ressalta a complexidade na caracterização de ruídos não estacionários apenas por meio de registros dos níveis sonoros ao longo do tempo, exigindo uma descrição mais simplificada e concisa.

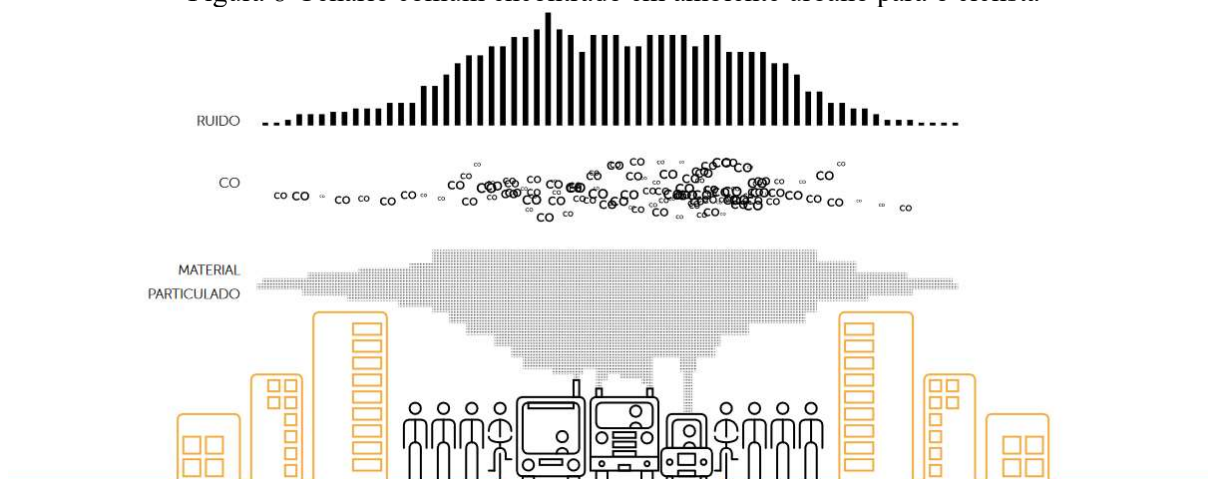
Figura 7-Exemplo de registro de ruído ambiente em zona urbana



Fonte: BISTAFA, 2018.

Sendo assim, dentro do contexto de ambiente urbano, a poluição sonora ou ruído está atrelado ao conjunto de sons indesejados e potencialmente prejudiciais que resultam de diversas atividades e elementos dentro do ambiente urbano. A Figura 8 caracteriza de forma esquemática as distribuições de poluentes no entorno de uma via movimentada, exposição característica dos centros urbanos onde há regime de fluxo intenso dos veículos (RODRÍGUEZ et al, 2017).

Figura 8-Cenário comum encontrado em ambiente urbano para o ciclista

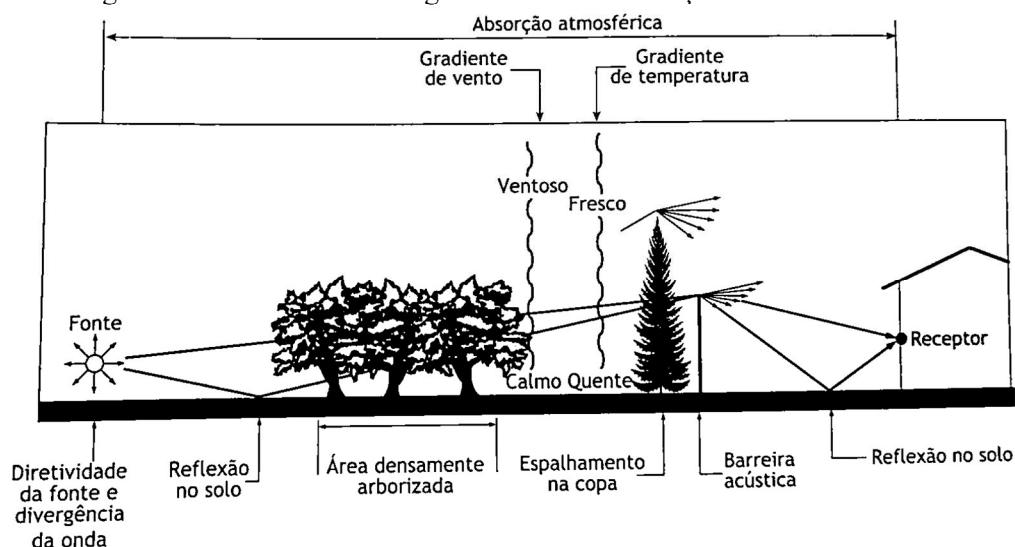


Fonte: RODRÍGUEZ et al, 2017

Murgel (2007) ainda cita que as fontes fixas de poluição sonora, como as indústrias, apresentam desafios distintos dos veículos automotores devido à sua natureza estática e às diversas fontes de ruído que podem afetar as áreas vizinhas. Equipamentos como torres de resfriamento e maquinários específicos contribuem para níveis elevados de ruído nos arredores das fábricas. Em ambientes urbanos, outras fontes como danceterias, escolas, equipamentos de ar-condicionado e atividades comerciais também são relevantes, gerando debates sobre limites aceitáveis e necessidade de regulamentação. O controle eficaz dessas fontes exige medidas específicas e regulamentações bem estudadas para promover ambientes mais silenciosos e saudáveis nas cidades.

Esse controle precisa considerar três componentes presentes na propagação sonora ao ar livre, sendo elas fonte sonora, trajetória de transmissão e receptor (Figura 9), pois o som emitido pela fonte é atenuado enquanto se propaga, sofrendo absorção atmosférica e reflexões no solo, já as barreiras naturais e artificiais também influenciam na atenuação do som, mas o espalhamento sonoro na copa das árvores pode reduzir sua eficácia, ainda variações verticais de vento e temperatura podem curvar as trajetórias sonoras, criando regiões de "sombra" acústica e modificando a interferência com o solo (BISTAFA, 2018).

Figura 9-Mecanismos mais significativos da atenuação sonora ao ar-livre.



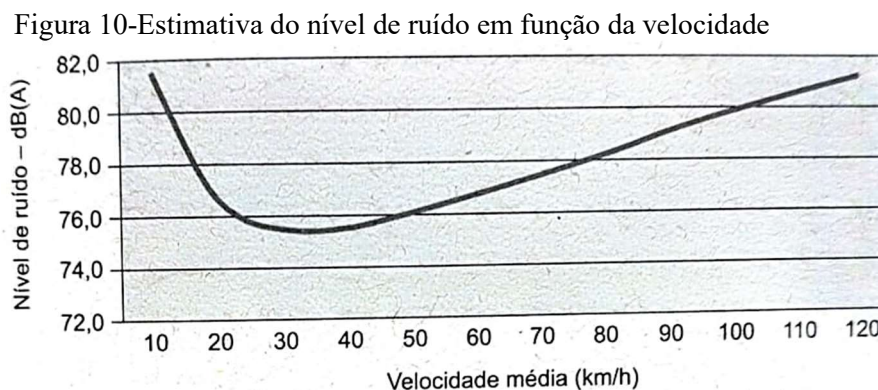
Fonte: Bistafa, 2018 *apud* Anderson e Kurze.

Como exemplo de análise do ruído em ambiente urbano, tem-se o estudo desenvolvido por Soares e Lima (2010), realizado na área central de Maringá-PR. Este estudo buscou caracterizar uma área central de Maringá no estado do Paraná, onde buscou-se caracterizar o ruído urbano por meio de medições, revelando que os níveis de pressão sonora ultrapassavam os limites estabelecidos pela norma NBR 10151 (ABNT, 2019) e pela legislação municipal em quase todos os pontos, dias e horários. O tráfego foi identificado como a principal fonte de ruído na região, sem outras fontes significativas detectadas durante as medições. Apesar disso, observou-se que o nível sonoro estatístico L_{90} , indicando a possibilidade de atender às normas em determinados momentos. Soares e Lima (2019) apontaram ainda a necessidade de intervenções e planejamento urbano para minimizar o problema do ruído, considerando-o um desafio significativo para a qualidade de vida das pessoas na área urbana estudada.

2.2.2 Ruído de tráfego veicular

Segundo Murgel (2007), “Um veículo automotor é uma fonte sonora extremamente complexa tendo o seu ruído, distintas origens. ” Assim, desde o motor, com suas múltiplas origens de ruído, abrangendo inclusive o sistema de transmissão, cada componente contribui para o som geral emitido pelo veículo. Com essas questões, os fabricantes são pressionados a reduzir o ruído dos diversos componentes responsáveis pelo funcionamento do automóvel através de regulamentações. Por outro lado, o ruído dos pneus é outro fator relevante, onde se

torna mais proeminente em velocidades mais altas, conforme visualizado na Figura 10, sobressaindo aquele gerado pelo funcionamento do motor do automóvel (MURGEL, 2007).



Fonte: MURGEL, 2007.

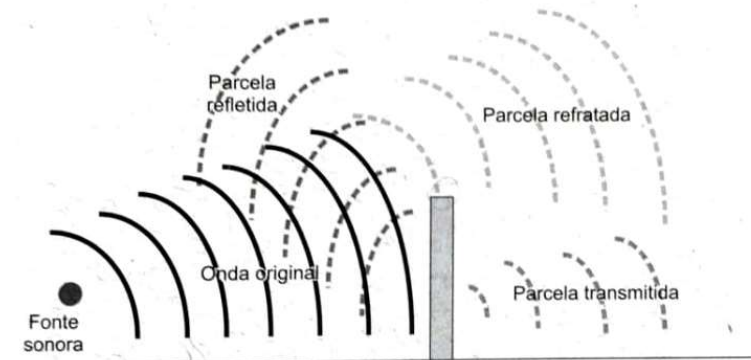
O ruído do tráfego terrestre desempenha um papel crucial na qualidade acústica das áreas urbanas, com variações temporais dependentes das fontes geradoras, como veículos individuais ou comboios (PATRÍCIO, 2018). No tráfego rodoviário regular, os níveis de ruído podem permanecer constantes em certos momentos do dia, com picos ocasionais causados por tipos específicos de veículos, como motocicletas e caminhões, especialmente durante as horas de pico. Sendo assim, quando analisada a distribuição dos níveis de pressão sonora ao longo do tempo, sugere-se uma distribuição normal em situações de alta densidade de tráfego, enquanto em densidades mais baixas, os valores podem ser mais constantes, com alguns picos ocasionais (PATRÍCIO, 2018).

Ainda sobre a abordagem de Patrício (2018), além dos veículos, o comportamento individual dos condutores também influencia nos níveis de ruído. No entanto, é importante considerar também outros fatores, como durabilidade e aderência, ao selecionar o tipo de pavimento a ser utilizado. Em resumo, o controle do ruído dos veículos automotores requer uma abordagem multifacetada que inclui regulamentações, planejamento urbano e escolha adequada de pavimentos (MURGEL, 2007).

Murgel (2007) cita que estratégias de mitigação incluem ações na própria fonte, como planejamento urbano que considere a localização de fontes sonoras e áreas sensíveis, visando estabelecer soluções sustentáveis e aceitáveis para minimizar os impactos do ruído nas áreas residenciais, escolares e hospitalares. Corroborando com a mesma ideia Patrício (2018) reforça a questão do planejamento urbano como crucial na mitigação do ruído, com adoção de estratégias como o distanciamento de áreas residenciais das vias principais e o uso de pavimentos porosos para reduzir a propagação do som.

Outra solução apontada pela literatura está na limitação da transmissão sonora através de barreiras acústicas. Como as ondas sonoras se propagam em linha reta e sofrem redução de intensidade com a distância da fonte, em casos como o ruído de tráfego em rodovias, onde o som pode se estender a grandes distâncias, as barreiras acústicas (Figura 11) podem ser utilizadas para mitigar a poluição sonora em pessoas que se situam nas proximidades (MURGEL, 2007).

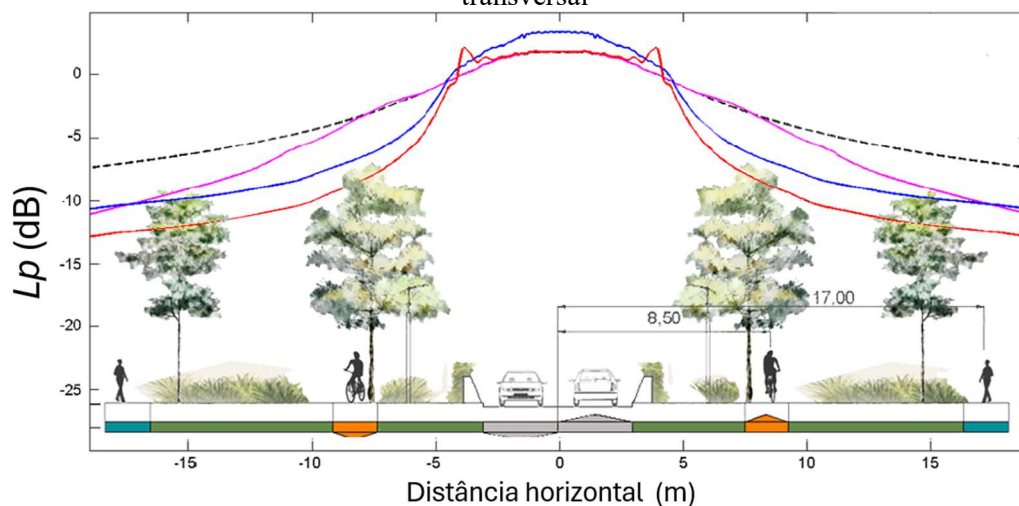
Figura 11-Comportamento de uma onda sonora ao se deparar com uma barreira acústica



Fonte: MURGEL, 2007.

Segundo Bistafa (2018) essas barreiras atuam absorvendo, refletindo ou desviando as ondas sonoras, sendo sua eficácia determinada pela composição do material, sua forma e posição e outro fator relevante está no dimensionamento adequado das barreiras para garantir uma eficiência global otimizada, considerando os diferentes efeitos de absorção, reflexão e desvio das ondas sonoras. A adoção de barreiras acústicas como a mencionada acima, podem ser aplicadas a diversos contextos de cenário, inclusive para proteção de ciclistas em ambiente urbano como exemplificado na Figura 12.

Figura 12-Resultado de um cenário de modelagem de exposição ao ruído ao longo de uma secção transversal



Fonte: Adaptado de Alves (2016)

As linhas coloridas apresentadas da Figura 12 simulam o comportamento do ruído em dB a cada mudança das variáveis citadas no parágrafo anterior. A partir dessa análise, foi possível concluir que a combinação dessas medidas pode reduzir significativamente os níveis de ruído para ciclistas e pedestres, ressaltando a importância de intervenções urbanas planejadas para melhorar a qualidade sonora e ambiental das áreas urbanas (ALVES et al,2016).

Outras formas de mitigação do ruído dentro de ambientes urbanos podem ser aplicadas. Segundo Distefano e Leonardi (2019) medidas de *Traffic-Calming*, como lombadas e rotatórias, não só reduzem a poluição sonora, mas também promovem a conformidade com os limites de velocidade, resultando em um ambiente urbano mais seguro e sustentável. Além disso, a inclusão de passarelas para pedestres, ciclovias e restrições de velocidade demonstram a preocupação em criar espaços urbanos que priorizem a segurança e a mobilidade sustentável, melhorando a qualidade de vida e promovendo estilos de vida saudáveis e comunidades mais conectadas (DISTEFANO e LEONARDI, 2019).

2.3 DESCRITORES ACÚSTICOS PARA AVALIAÇÃO DE RUÍDO DE TRÁFEGO VEICULAR

2.3.1 Nível de pressão sonora equivalente contínuo (L_{eq})

O Nível Equivalente (L_{eq}) é uma medida fundamental na avaliação de registros de níveis sonoros, desempenhando um papel crucial na análise de dados sonoros ao longo do tempo.

De acordo com Bistafa (2018), o conceito de nível equivalente é descrito como o nível sonoro médio ao longo de um determinado período, que representa a mesma energia sonora total que seria gerada pelos eventos sonoros registrados durante esse intervalo, sendo crucial para avaliar e comparar o impacto sonoro de diferentes fontes de ruído em ambientes urbanos e industriais.

Segundo a norma ISO 1996-1:2016 (*International Organization for Standardization*, 2016), existem métodos para descrever, medir e avaliar o ruído ambiental, considerando as quantidades básicas e os procedimentos de avaliação, podendo ser calculado pela Equação (1).

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \frac{\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt}{p_0^2} \text{ dB} \quad (1)$$

Sendo:

$p_A(t)$ é a pressão sonora instantânea ponderada A no tempo de execução t

p_0 é igual a $20 \mu\text{Pa}$

Ou ainda de acordo com Bistafa (2018), o L_{eq} pode ser calculado através da Equação (2).

$$L_{eq} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \left(t_1 * 10^{\frac{L_{p1}}{10}} + t_2 * 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + \dots \right) \right] \quad (2)$$

Onde $L_p(t)$ é o nível de pressão sonora no instante t , e T é o intervalo de tempo de registro. Quando $L_p(t)$ é o nível de pressão sonora A -ponderado, então L_{eq} será dB (BISTAFA, 2018).

2.3.2 Níveis estatísticos (L_n)

De acordo com Bistafa (2018), os níveis estatísticos, conhecidos como níveis de excedência, são indicadores fundamentais na análise do ruído ambiental, sendo os mais comuns o L_{10} , L_{50} e L_{90} . O L_{90} representa o nível sonoro ultrapassado em 90% do tempo de medição, indicando o ruído de fundo predominante, enquanto o L_{50} corresponde ao nível ultrapassado em 50% do tempo, não necessariamente refletindo a média, mas representando um ponto mediano. Por fim, o L_{10} revela o nível ultrapassado em apenas 10% do tempo, evidenciando picos mais intrusivos de ruído durante a medição. Esses indicadores estatísticos são cruciais na compreensão do impacto sonoro de fontes como tráfego aeroviário, ferroviário e rodoviário, influenciando diretamente na definição de critérios para áreas residenciais, escolares e áreas públicas, além de desempenharem um papel essencial nas regulamentações e decisões de planejamento urbano e ambiental (BISTAFA, 2018).

De acordo com Murgel (2007) em se tratando de ruídos oriundo de uma via de tráfego veicular, é uma fonte linear, mas com variações. O ruído é gerado por veículos em movimento, comportando-se como uma fonte pontual. À medida em que há o afastamento da via, o ruído se torna mais contínuo devido ao decaimento mais rápido do L_{10} em relação ao L_{90} , igualando as intensidades dos diferentes níveis estatísticos. Os parâmetros estatísticos (L_{10} , L_{90} e L_{eq}) têm comportamentos distintos, com L_{10} se aproximando de uma fonte pontual, L_{90} de uma fonte linear e L_{eq} tendo comportamento intermediário (MURGEL, 2007).

2.3.3 Índice de ruído de tráfego (TNI)

De acordo com Griffiths e Langdon (1968) o Índice de Ruído de Trânsito (TNI) é crucial para prever a insatisfação média com o ruído do tráfego em áreas residenciais, levando em conta os níveis de som em diferentes períodos do dia. Prever com base apenas nos extremos de 10% ou 90% dos níveis de som é menos preciso do que usar a medida combinada do TNI . Esses valores são usados para avaliar a aceitabilidade do ruído do tráfego em áreas residenciais. Apesar das correlações moderadas entre o TNI e fatores como distúrbios relatados e níveis de som, outros fatores além do ruído, como perturbações do tráfego, podem influenciar a insatisfação (GRIFFITHS e LANGDON, 1968).

Ainda segundo Bosco, Leonardi e Scopellitti (2006) o Índice de Ruído do Tráfego (TNI - *Traffic Noise Index*) é utilizado como uma métrica para avaliar o desconforto causado pelo tráfego rodoviário, comparando-o ao L_{Aeq} , um indicador comumente utilizado. Os resultados

demonstram que, para um mesmo valor de L_{Aeq} , o TNI pode expressar um maior nível de incômodo devido à consideração dos valores de L_{10} e L_{90} , em oposição ao L_{Aeq} . O TNI , proposto por Griffiths e Langdon (1968), foi desenvolvido especificamente para o tráfego veicular e é calculado pela Equação (3).

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

Onde:

O L_{10} e L_{90} correspondem aos níveis estatísticos medidos em um período de 24h.

Este índice é determinado com base em medições ao longo de 24 horas e destaca a variação entre os picos e o ruído de fundo, além de incluir um fator de normalização na fórmula. Entretanto, a forte influência do primeiro termo do índice limita sua aplicabilidade fora do ambiente urbano em estradas com tráfego contínuo (GRIFFITHS e LANGDON, 1968).

2.3.4 Nível de poluição sonora (L_{NP})

Segundo Bosco, Leonardi e Scopellitti (2006) o L_{NP} considera que a persistência de ruídos em um período específico não depende apenas da energia média, mas também de características específicas, como flutuações no nível de ruído, sendo assim, em situações de níveis de ruído equivalentes, aqueles com flutuações consideráveis são mais perturbadores. O índice é, matematicamente, definido utilizando-se o nível sonoro médio e o desvio padrão dos níveis instantâneos, com uma constante geralmente assumida como 2,56 (BOSCO; LEONARDI e SCOPELLITTI, 2006). Podendo também ser calculado pela Equação (4).

$$L_{NP} = L_{50} + (L_{10} - L_{90}) + 0,0167 * (L_{10} - L_{90}) \quad (4)$$

Onde:

L_{10} , L_{50} e L_{90} é o nível de pressão sonora que foi excedido em 10%, 50% e 90% do tempo de medição respectivamente, em dB.

2.3.5 Nível de exposição sonora (SEL)

De acordo com Bistafa (2018), o Nível de Exposição Sonora (SEL) é uma medida definida em *decibels* ponderados por frequência A dB, que representa a quantidade de energia sonora dissipada em um segundo pelo ruído original.

A origem do *SEL* está associada à descrição do ruído de sobrevoos de aeronaves, onde cada sobrevoos é considerado como um único evento caracterizado pelo *SEL*. Vários valores de *SEL*, correspondentes a diferentes sobrevoos, podem ser posteriormente comparados ou combinados para obter um valor global, permitindo caracterizar não apenas sobrevoos, mas também outros eventos discretos, como passagens de trens e motocicletas, podendo ainda ser uma medida essencial para avaliar e comparar níveis de exposição sonora em diferentes contextos, fornecendo uma base objetiva para análise e tomada de decisões relacionadas ao controle e mitigação do ruído ambiental (BISTAFA 2018). Pode ser calculado pela Equação (5).

$$SEL = Leq + 10 \log \left(\frac{t}{1s} \right) \quad (5)$$

Onde:

Leq representa o nível de ruído sonoro num dado intervalo e t representa o tempo de exposição.

2.4 IMPACTO DO RUÍDO NO SER HUMANO

Pelo fato de o incômodo provocado pelo ruído ser um atributo extremamente subjetivo, torna-se difícil mensurar esse grau de perturbação, pois a noção de audibilidade interfere no grau de aceitação do ruído, assim como o mal-estar provocado por ele, podendo levar ainda às consequências dos efeitos não auditivos. Como exemplo, manifestações cardiovasculares, que podem ocasionar hipertensão, variações da pressão sanguínea e/ou de batimentos cardíacos, além de problemas respiratórios e de saúde mental (BISTAFA, 2018).

De acordo com Ladeia (2019), a poluição sonora é prejudicial à saúde humana, com possibilidade de manifestações no corpo podendo provocar cefaleias, irritabilidade e insônia. Ladeia (2019) aponta ainda que o ruído urbano aumenta a predisposição das pessoas a várias condições patológicas, necessitando de urgência na implementação de medidas para mitigar os efeitos negativos da poluição sonora na saúde pública.

Algumas dessas manifestações no ser humano foram comprovadas através da pesquisa realizada por Strinzo (2023), o ruído urbano tem diversas consequências negativas, tais como perturbação do sono, aumento do estresse e da ansiedade, impacto na saúde auditiva, interferência nas atividades diárias, deterioração da qualidade de vida, conflitos entre vizinhos e transeuntes, e redução da produtividade e do bem-estar geral da população. Esses efeitos

adversos evidenciam a necessidade urgente de medidas para controlar e mitigar a poluição sonora nas áreas urbanas.

2.5 NORMAS E LEGISLAÇÕES PERTINENTES

A NBR 10151 (ABNT, 2019) estabelece procedimentos para a medição e avaliação dos níveis de pressão sonora em áreas habitadas, com o objetivo de controlar a poluição sonora e proteger a saúde e o bem-estar da população. Abrange ambientes externos às edificações e ainda define diretrizes para a avaliação de diversos tipos de sons, como total, específico e residual, além de estabelecer limites de níveis de pressão sonora de acordo com a finalidade de uso e ocupação do solo, conforme Tabela 4 a seguir. Considerando a relevância dos altos níveis de ruído para a saúde, a NBR 10151 desempenha um papel crucial na regulação dos níveis sonoros em áreas habitadas, contribuindo significativamente para a qualidade de vida da população.

Tabela 4-Limites dos níveis de pressão sonora de acordo com a ocupação estabelecidos pela NBR 10.151:2019, em dB.

Tipos de áreas habitadas	Período diurno	Período noturno
Área de residências rurais	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista predominantemente residencial	55	50
Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativa	60	55
Área mista com predominância de atividades culturais, lazer e turismo	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: Adaptado da NBR 10151 (ABNT, 2019).

Já a NBR 16425:2020 (ABNT, 2020), estabelece métodos para medição e avaliação do ruído gerado pelo tráfego de veículos em vias públicas, visando controlar e mitigar os impactos sonoros em áreas residenciais, comerciais e industriais adjacentes a rodovias e vias expressas.

A norma ainda detalha descritores sonoros como o nível de pressão sonora equivalente contínuo (L_{eq}), o nível de pressão sonora máximo (L_{max}), o nível de exposição sonora (L_{Aeq}) e o nível de som ponderado em dB, utilizados para quantificar o ruído do tráfego. Além disso, estabelece métodos de medição que incluem procedimentos para posicionamento e altura dos microfones, calibração dos instrumentos, consideração das condições climáticas e de tráfego, duração da medição e tipos de veículos e ainda define critérios de avaliação baseados nos descritores sonoros e nos usos predominantes das áreas afetadas, com níveis mais rigorosos

para zonas residenciais e critérios específicos para áreas com características especiais (ABNT, 2020).

Na cidade de Aracaju, a Lei nº 1789, de 17 de janeiro de 1992, apresenta um conjunto de disposições visando a proteção do meio ambiente, abordando diversas formas de poluição, incluindo a sonora, estabelecendo medidas para prevenir ou reduzir a emissão de ruídos excessivos que possam afetar a saúde e o bem-estar da população (ARACAJU, 1992).

Ainda com relação às disposições previstas nessa lei, são estabelecidos limites permissíveis de ruído estabelecidos com base em atividades que tem algum tipo de exploração profissional ou comercial, conforme citado a seguir:

Art. 24 - Os sons e ruídos provenientes de locais construídos ou adaptados para exploração profissional e comercial, onde se utilize instrumentos musicais, produtores e amplificadores de som ou ruído, que causem incômodo à vizinhança, não podem agir, no exterior do recinto em que têm origem, nível de som superior a 60 decibéis db (A) - das 07 às 22 horas e 50 decibéis - db (A) das 22:00 às 07:00 horas (ARACAJU, 1992).

A partir desses limites, determina-se a fiscalização para garantir o cumprimento do código, proibindo a localização de estabelecimentos comerciais, industriais ou de serviços que produzam ruídos em áreas residenciais, além de restringir o uso de aparelhos que emitam sons incômodos, estabelecendo ainda horários e condições para a realização de eventos que possam gerar poluição sonora, como festividades religiosas e esportivas, e prevê sanções para aqueles que desrespeitarem as normas (ARACAJU, 1992).

Já a Lei nº 2410 de 17 de junho de 1996, também do município de Aracaju, estabelece medidas de combate à poluição sonora, com ênfase no controle dos ruídos. Os dispositivos da lei proíbem a emissão de ruídos que perturbem o bem-estar público, estabelecendo limites máximos de som para máquinas e equipamentos durante o dia e a noite. Para eventos que utilizam equipamentos sonoros, como carnaval e festas, é exigido acordo prévio com o órgão municipal do meio ambiente quanto aos limites de emissão de som. Exceções são feitas para certos sons produzidos por igrejas, rádios comunitárias, bandas de música em eventos religiosos e manifestações esportivas licenciadas. A lei também exige vistoria nos estabelecimentos para emissão de alvará de utilização sonora, cuja não obtenção implica em penalidades. Infrações são punidas com multas proporcionais ao nível de violação, podendo haver suspensão das atividades e apreensão de equipamentos (ARACAJU, 1996).

A legislação ainda estabelece limites de ruído para máquinas estacionárias: 55 dB durante o dia (07h-18h) e 50 dB durante a noite (18h-07h do dia seguinte), medidos a partir dos limites do imóvel ou do ponto com maior intensidade no local receptor (ARACAJU, 1996).

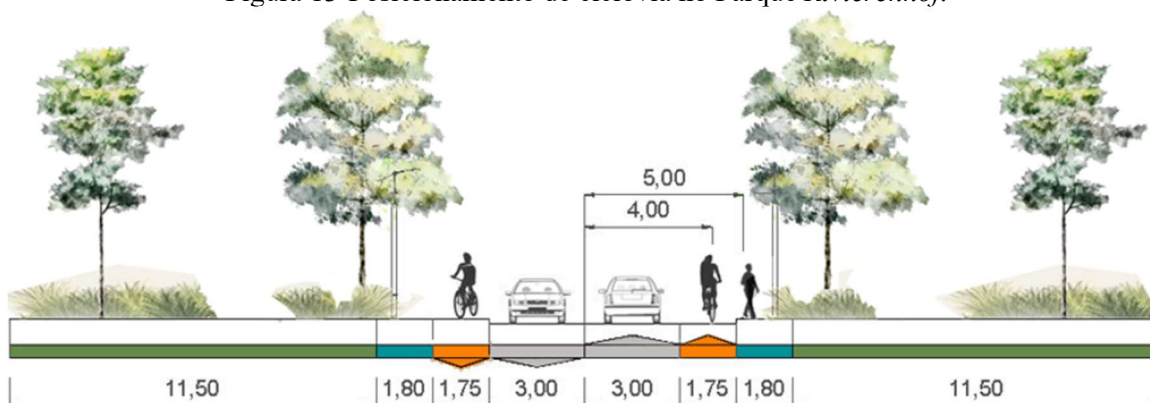
Porém, quando se trata da inclusão do fator ruído junto ao planejamento urbano, percebe-se que não existe a menção do mesmo como fator preponderante na determinação do planejamento da cidade. Em alternativa, existem normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) que norteiam na análise da poluição sonora, tomando como destaque as Normas Brasileiras: sendo destacadas NBR 10151:2019 Versão Corrigida:2020. Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral e a NBR 16425:2020. Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão provenientes de sistemas de transporte.

2.6 CONSIDERAÇÃO DO FATOR RUÍDO NO PLANEJAMENTO DE CICLOVIAS

Embora as leis municipais não tratem de forma específica a mitigação do ruído dentro do planejamento urbano, ainda mais dentro do contexto de ciclovias, é possível adotar medidas que abordem as boas práticas para atenuação e controle.

Nesse sentido, o estudo realizado por Alves (2016), são discutidas medidas mitigadoras para o ruído do tráfego rodoviário no Parque *Rivierenhof*, localizado na Bélgica. Esse parque é dividido por uma estrada de 1 km com duas faixas de tráfego, ciclovia e calçada adjacente, conforme apresentado na Figura 13. O *layout* atual da estrada compromete a segurança dos pedestres, interrompe a coesão do parque e gera uma significativa fonte de ruído, com valores L_{eq} em torno de 70 dB. Como alternativas são discutidas várias soluções, incluindo a separação das faixas de tráfego, a redução do número de faixas, a diminuição da velocidade do tráfego, o uso de material de superfície poroso na estrada, a instalação de barreiras vegetadas ao lado da estrada e a inclusão de áreas verdes absorventes entre a fonte de ruído e os pedestres/ciclistas. Essas soluções visam reduzir a emissão de ruído do tráfego rodoviário e melhorar a qualidade do espaço urbano.

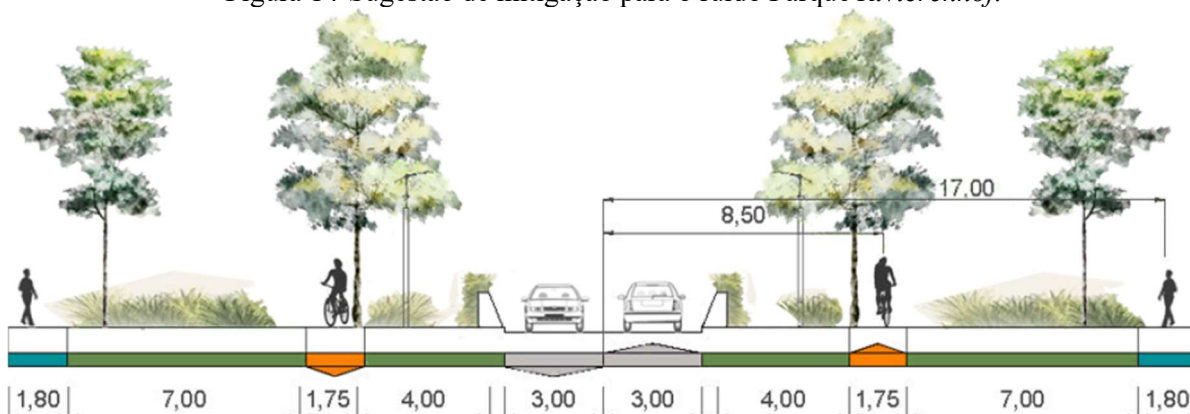
Figura 13-Posicionamento de ciclovia no Parque *Rivierenhof*.



Fonte: ALVES *et al*, 2016

Ainda no estudo de Alves (2016) são realizadas simulações com vários cenários diferentes, sendo a eficácia dessas medidas foi avaliada por meio de modelagem acústica (Figura 14), com destaque para a adição de diferentes tipos de barreiras vegetadas baixas, como barreiras verticais e inclinadas.

Figura 14-Sugestão de mitigação para o ruído Parque *Rivierenhof*.



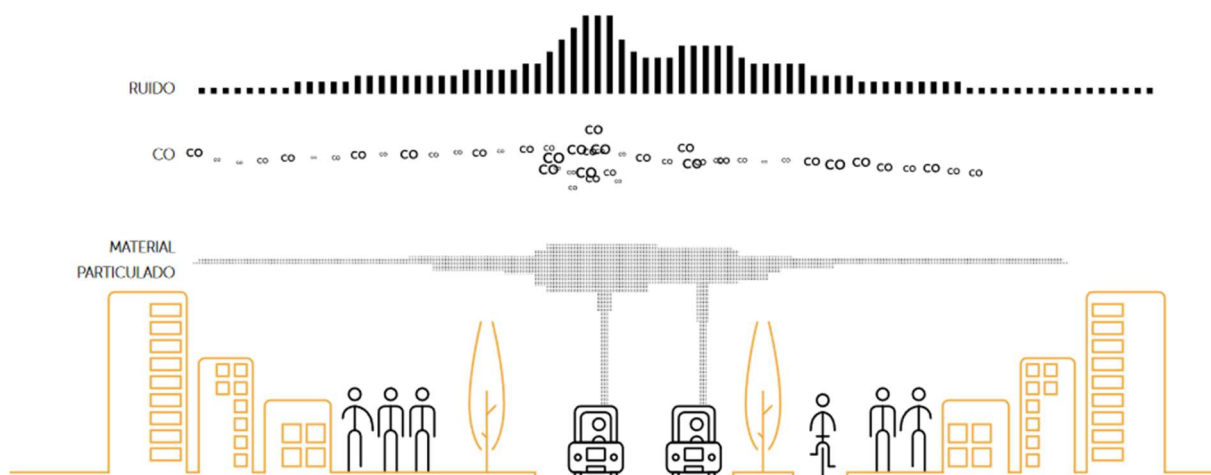
Fonte: ALVES *et al*, 2016

Os resultados mostraram que a inclusão dessas barreiras, especialmente as inclinadas, pode reduzir significativamente a exposição ao ruído, com reduções de até 25 dB para ciclistas e 30 dB para pedestres em determinadas distâncias da estrada. A redistribuição do tráfego, a diminuição da velocidade e o aumento da distância entre as faixas de tráfego e os pedestres/ciclistas também contribuíram para a redução do ruído (ALVES *et al*, 2016).

Considerando as orientações em estudos como de Willberg *et al*. (2023), Gelb e Apparicio (2022) e Ramos (2017) é sugerido que a infraestrutura para bicicletas seja preferencialmente localizada em áreas afastadas das principais vias de tráfego e de áreas industriais, favorecendo a circulação por parques, avenidas arborizadas e instalações esportivas.

No entanto, devido às limitações do espaço público e ao desenho dos sistemas de transporte dos centros urbanos, é comum que essa infraestrutura seja implementada sobre vias de tráfego motorizado, sendo importante buscar a maior distância possível entre os ciclistas e as fontes de emissão, preferencialmente com tráfego leve. Além disso, é essencial garantir um espaço adequado entre a infraestrutura para bicicletas e a via, independentemente do tipo de veículos predominantes, como exemplificado na Figura 15. Por fim, quando não for possível a garantia dessa estrutura na fase de concepção, é recomendável incorporar barreiras naturais e aproveitar o espaço público circundante para promover mudanças urbanas e paisagísticas que beneficiem a cidade como um todo (RODRÍGUEZ *et al*, 2017).

Figura 15-Proposta de cenário ideal para construção de uma ciclovia.



Fonte: RODRÍGUEZ et al, 2017

Indiretamente outros benefícios são agregados ao proporcionar um maior afastamento do tráfego intenso das vias cicláveis. Ainda com relação a Figura 15, é exemplificado a diminuição dos poluentes urbanos como o material particulado e a emissão de CO₂.

Como citado anteriormente por Murgel (2007) e Patrício (2018), cabe incluir a poluição sonora na etapa de planejamento na decisão de implantação de ciclovias. A adoção do ruído como fator preponderante nessa fase evita novos planejamentos futuros com consequentes gastos adicionais de reorganização urbana, ainda mais levando-se em consideração que um dos principais fatores mitigadores propostos na literatura técnica está no maior distanciamento das ciclovias para as vias de tráfego, medida que tem sido negligenciada nos ambientes urbanos altamente adensados. Com isso, não são raros os estudos de impacto sonoro em ciclovias já implantadas sem apresentar distâncias adequadas de afastamento para as vias de tráfego veicular. A seguir serão apresentados alguns estudos de impacto sonoros em ciclovias.

2.7 ESTUDOS DO IMPACTO SONORO EM CICLOVIAS

O ruído de tráfego veicular nas cidades afeta diretamente os usuários de ciclovias, de acordo com vários estudos a exemplo de Rodríguez, *et al* (2017), Ramos (2017), Davel (2020) e Gelb e Apparicio (2022).

Cientistas alertam que muitas áreas urbanas estão acima do limite de ruído recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), o que prejudica os ciclistas que passam por locais movimentados, como o centro, as lojas e as universidades e para que o ciclismo urbano traga benefícios para as pessoas e para o meio ambiente, é preciso que as cidades cuidem da saúde ambiental, reduzindo a poluição sonora e garantindo a segurança dos ciclistas assim, a

qualidade de vida, a saúde e o bem-estar das pessoas e das comunidades podem melhorar (RODRÍGUEZ et al, 2017).

Ramos (2017) fez uma pesquisa similar, mas com ciclistas na cidade de São Carlos, São Paulo, onde foram medidos os níveis de ruído em diferentes ciclovias urbanas, nas rotas utilizadas pelos ciclistas para o deslocamento aos locais de trabalho. Foi visto que os ciclistas estavam expostos a níveis de ruído muito elevados em alguns trajetos. Para a realização dessa pesquisa, o autor adotou os seguintes passos metodológicos: caracterização da área de estudo, coleta e validação dos dados, cálculo de indicadores de exposição sonora e comparação entre resultados por meio de mapas. Ao final, constatou-se que a exposição ao ruído estava acima do tolerável, observou-se a frequência de ocorrência que os indicadores acústicos ultrapassaram o valor de 85 dB, tomando como comparação valores estabelecidos pela Norma Regulamentadora 15.

Davel (2020) avaliou os níveis de ruído na Av. Marechal Mascarenhas de Moraes, em Vitória/ES, e observou que os valores medidos estavam acima dos limites estabelecidos pela NBR 10151 (ABNT, 2019). Esta constatação representa relevante problema para os usuários dos locais avaliados que os utilizam para a prática de atividades físicas, sendo impactadas por níveis de ruído que podem prejudicar a saúde física, mental e social. As coletas dos dados acústicos ocorreram em cinco pontos diferentes durante cinco dias. Este estudo mostrou ainda que o ruído pode causar vários danos à saúde, como perda auditiva, estresse, distúrbios do sono, impacto no sistema nervoso e endócrino, dificuldades de reprodução e cognição, problemas cardiovasculares, diabetes tipo 2 e morte precoce (DAVEL, 2020).

Um exemplo, é o estudo de Gelb e Apparicio (2019), que mediram os níveis de ruído a que os ciclistas estão expostos em *Ho Chi Minh City*, cidade localizada na região Sudeste do Vietnã. Os autores mostraram que o ruído pode causar danos à audição e a outros aspectos da saúde dos ciclistas, e que isso depende do tipo de rota, das atividades no entorno e do tempo de exposição. Eles sugeriram algumas formas de diminuir o ruído, como criar rotas mais tranquilas e usar protetores auriculares. A metodologia usada pelos autores foi uma análise espaço-temporal, com modelos não lineares, na qual três ciclistas usaram equipamentos para medir o ruído e o tempo durante mais de 1.000 km na cidade. Essas medições resultaram em 3.300 segmentos de um minuto cada, que foram usados para avaliar o ruído, usando o descritor acústico - L_{Aeq} .

Outro estudo interessante abordou a expansão da densidade populacional e da frota de veículos em centros urbanos, resultando em poluição sonora e impactos negativos na saúde física e psíquica da população. Realizaram-se medições do nível de pressão sonora na cidade

de Umuarama-PR em dois anos consecutivos, analisando o Nível de Pressão Sonora Equivalente (L_{Aeq}) em diferentes locais da malha urbana. Todos os valores coletados excederam os limites estabelecidos pelas normas, causando incômodo sonoro na população e potenciais problemas de saúde. O aumento da frota de veículos foi identificado como um dos principais contribuintes para esse cenário. As medições mostraram que, mesmo em diferentes horários, os pontos críticos mantiveram níveis elevados de pressão sonora, indicando a persistência do problema ao longo do tempo. As análises evidenciaram que a maioria dos pontos analisados apresentou valores superiores ao permitido, tanto no período diurno quanto no noturno, demandando estudos mais aprofundados sobre o tema em Umuarama-PR (SAKAI et al, 2018).

O estudo de Willberg et al. (2023) adotou uma abordagem espacial de análise para avaliar a exposição de ciclistas à poluição do ar e do ruído em áreas verdes, propondo uma metodologia aplicável a diversas formas de transporte ativo. Esta análise contribui para compreender as variações urbanas em múltiplas exposições e sua relação com a escolha de rotas, visando aprimorar a experiência dos ciclistas em relação à exposição durante suas viagens. Embora a exposição ao ruído durante o ciclismo tenha sido pouco estudada, evidências sugerem níveis excessivos em algumas áreas urbanas e ao longo de rodovias. Ainda nesse estudo é enfatizada a dificuldade de estabelecer conclusões sólidas sobre o impacto do ruído na preferência geral de rotas para ciclismo, devido à diversidade de metodologias e ao número limitado de estudos. No entanto, observou-se que ciclistas na Alemanha e Áustria tendem a escolher rotas mais longas para evitar a exposição ao ruído. Embora a influência da exposição ao ruído na saúde e bem-estar dos ciclistas seja relevante, estudos indicam que os benefícios do ciclismo superam os efeitos negativos do ruído em avaliações de impacto em nível populacional e urbano (WILLBERG et al. 2023).

Por fim, a Tabela 5 sintetiza as principais informações coletadas nos trabalhos discutidos nesta seção, como forma de evidenciar formas de abordagens metodológicas adotadas em estudos correlatos e contribuir para o delineamento do método de pesquisa desenvolvida nesta dissertação, o que será detalhado no próximo capítulo. Cabe destacar que dentre os trabalhos elencados existe proximidade de desenvolvimento ao trabalho de Ramos (2017) pela configuração da cidade analisada e descritores acústicos utilizados.

Tabela 5- Síntese das informações extraídas de trabalhos correlatos sobre impactos sonoros em ciclovias.

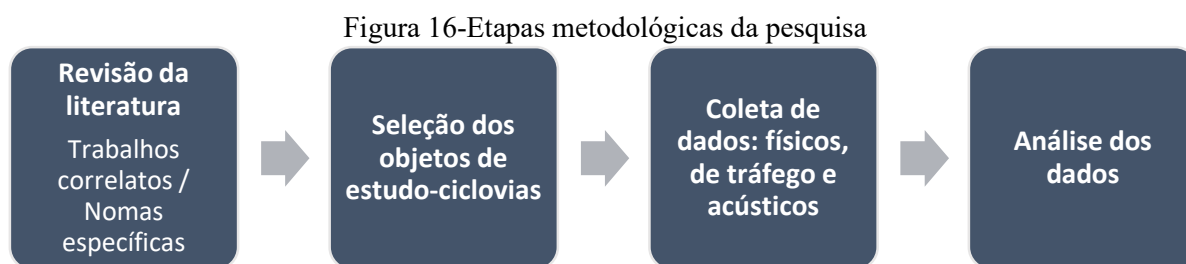
Referência	Objetivos	Metodologia aplicada	Resultados
Willberg <i>et al.</i> (2023)	Avaliar a exposição de ciclistas, considerando múltiplos fatores de exposição e sua variação espacial.	Utilização de <i>software</i> de planejamento de rotas e, integração de dados de viagens de bicicleta, análise de exposição em Helsinki, Finlândia. Diretiva Europeia de Ruído Ambiental de 2002/49/CE	O ruído da exposição durante a ciclagem excedeu os níveis saudáveis. Identificação de ambientes de viagem saudáveis ou não é a comparação de áreas quanto à qualidade ambiental para o ciclismo.
Gelb e Apparicio (2022)	Comparar a exposição de ciclistas à poluição do ar e ao ruído e fornecer mapas de exposição	Foram coletados dados de sete cidades (Paris, Lyon, Copenhagen, Delhi, Mumbai, Montreal e Toronto) para modelar a exposição de ciclistas ao NO ₂ e ao ruído.	Foi constatada uma fraca correlação entre a exposição ao ruído e ao NO ₂ , sendo que o ruído é mais influenciado pelas características do ambiente em que a exposição ocorre.
Apparicio e Gelb (2020)	Comparar a exposição de ciclistas ao ruído em três cidades	Ciclistas equipados com dosímetros de ruído e relógios GPS; modelos aditivos generalizados para analisar a interação entre a infraestrutura de bicicleta, dia da semana, e o ruído residual.	A exposição média ao ruído foi de 73.4, 70.7, e 68.4 dB em Paris, Montreal, e Copenhagen, respectivamente; A infraestrutura influenciou significativamente na exposição ao ruído.
GELB <i>et al.</i> (2019)	Analisar as variações nos níveis de exposição ao ruído de ciclistas na cidade de Ho Chi Minh.	Foi usado dosímetros de ruído e GPS. Análises de interações entre inclinação da via, velocidade dos ciclistas, horários de pico e distribuição espacial do ruído. S_{EL} e L_{Aeq} foram usados.	Níveis altos (média de 78,8 dB). Bairros centrais e áreas próximas ao aeroporto com níveis de ruído até 4x maiores que áreas periféricas. A inclinação da via e a velocidade dos ciclistas, horários de pico influenciaram.
RAMOS (2017)	Avaliar a exposição de ciclistas ao ruído em uma cidade média brasileira.	Utilização de sensor móvel para medições em ruas com e sem infraestruturas cicloviárias. Indicadores acústicos como S_{EL} e L_{Aeq} .	Altos níveis de ruído em alguns trechos. A análise de dois indicadores ampliou a classificação dos trechos quanto à exposição ao ruído.

Fonte: Elaborado pelo Autor

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para o alcance do objetivo geral proposto nessa dissertação, ou seja, avaliar o impacto sonoro em ciclovias em Aracaju/SE, a pesquisa foi desenvolvida a partir das seguintes etapas metodológicas: Revisão da literatura, definição dos locais de estudo, coleta de dados e Análise dos dados, conforme ilustrado na Figura 16.



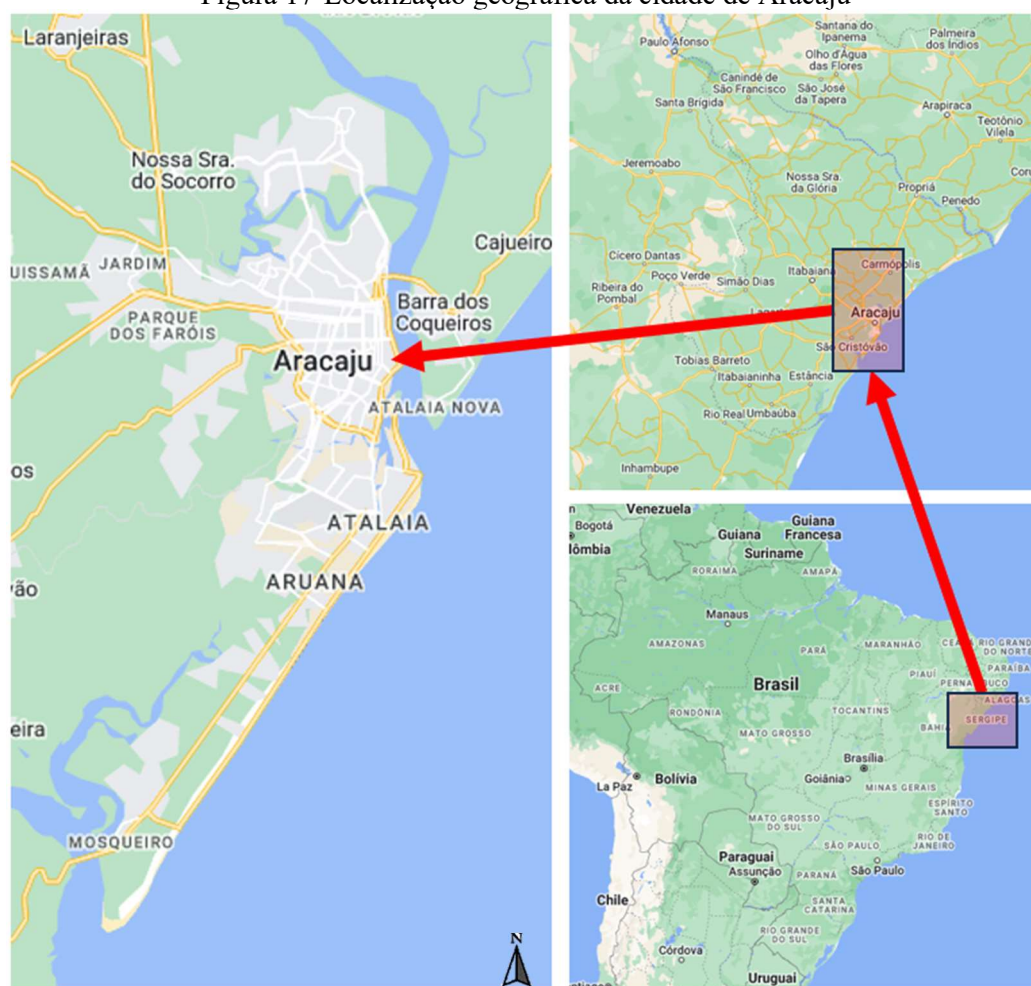
Fonte: Elaborado pelo Autor

Inicialmente, foi delimitado o de estudo através de uma revisão da literatura existente para embasar, teoricamente, o trabalho. Em termos metodológicos, foram realizados os seguintes procedimentos: a) levantamento de informações na Superintendência Municipal de Transportes e Trânsito da Prefeitura Municipal de Aracaju (SMTT/PMA) relacionadas aos fluxos de veículos/horários do mês de abril de 2023 para definição dos pontos de coleta de dados e georreferenciamento dos pontos, dando preferência a trechos das vias com dispositivos de controle de velocidade (regiões próximas a radares fixos) e com características físicas diferentes das ciclovias e entorno próximo; b) coleta de dados de tráfego e acústico; c) análise dos resultados, conforme esquema da Figura 16.

3.2 LOCAL DE ESTUDO

Esta pesquisa se desenvolveu na cidade de Aracaju, capital do Estado de Sergipe, Brasil, localizada na região Nordeste (Figura 17). A cidade de Aracaju possui uma população de 602.757 habitantes, conforme o Censo do IBGE de 2022. Suas coordenadas geográficas são 10° 55' 0" Sul, 37° 4' 0" Oeste, com uma densidade demográfica de 3.308,89 habitantes por km², com clima característico tropical.

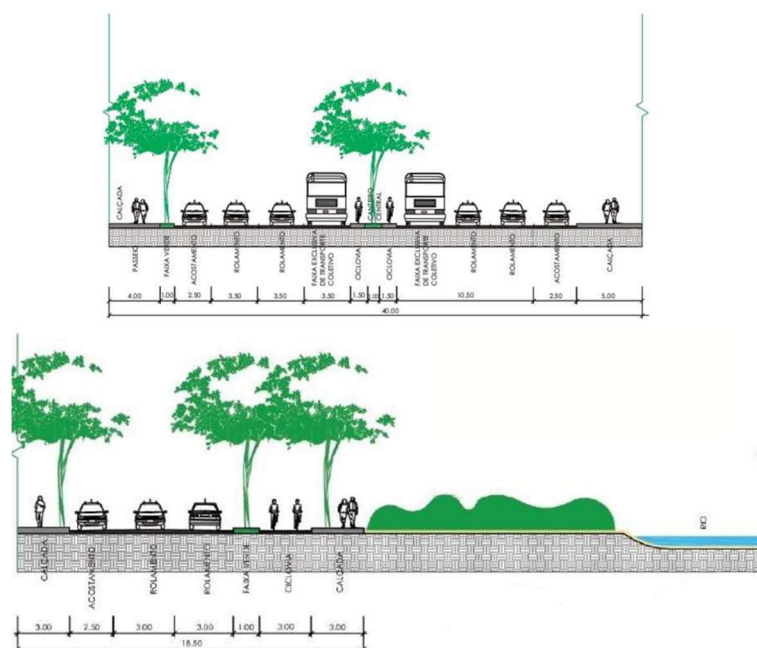
Figura 17-Localização geográfica da cidade de Aracaju



Fonte: Adaptação MAPSTYLE (2023).

Ainda com relação às ciclovias na cidade, estas possuem configurações físicas diferentes, a depender da via que está inserida, ou ainda podem possuir mudanças físicas dentro da mesma ciclovia. Essas características físicas fazem parte do critério de seleção dos objetos de estudo-ciclovias, sendo levados em consideração: a distância em relação à via, o posicionamento de canteiros com gramados e árvores, muros, áreas livres e edificadas, aspectos que podem contribuir nas análises de eventuais influências das características físicas e de tráfego veicular. A Figura 18 apresenta dois exemplos de perfis viários diferentes encontrados nas vias da cidade de Aracaju.

Figura 18-Exemplo de diferentes perfis viários presentes na cidade de Aracaju



Fonte: Adaptação de PMDU, 2015.

A cidade de Aracaju possui uma malha cicloviária considerada extensa. De acordo com dados disponibilizados pelo Ciclomapa (2023), a cidade de Aracaju conta com aproximadamente 106 km de infraestrutura cicloviária, possuindo uma ampla rede de ciclovias e ciclofaixas que conecta diversas áreas da cidade, de acordo com a Figura 19, proporcionando alternativas de mobilidade.

Entre as principais vias exclusivas para bicicletas, destacam-se:

- A ciclovie Heráclito Rollemberg, que tem 1.700 metros de comprimento e liga os bairros Orlando Dantas, Santa Maria, São Conrado e Farolândia, na zona Sul, ao centro da cidade.
- A ciclovie da Avenida Beira-Mar, que tem 7.450 metros de extensão e é a maior da cidade. Ela conecta os bairros Centro, 13 de Julho, Salgado Filho, Coroa do Meio, Inácio Barbosa e Farolândia e é muito usada para passeios e lazer na região da Praia de Atalaia.
- As ciclofaixas da Avenida Augusto Franco, são as mais antigas da cidade e foram construídas em função da linha férrea existente nessa via. Possuem 4.860 metros de comprimento e interligam as zonas Oeste e Sul da cidade, passando por igrejas, supermercados, universidades e outras instituições de ensino. Elas também se conectam com a ciclovie da Avenida Tancredo Neves.
- A ciclovie da Avenida Tancredo Neves, que é uma das principais avenidas da cidade com 7.180 metros de extensão. Ela atravessa a cidade da zona Sul até as zonas Norte e Oeste e dá acesso a terminais de integração de transporte público, universidade e centros de ensino.

3.3 SELEÇÃO DOS OBJETOS DE ESTUDO - CICLOVIAS

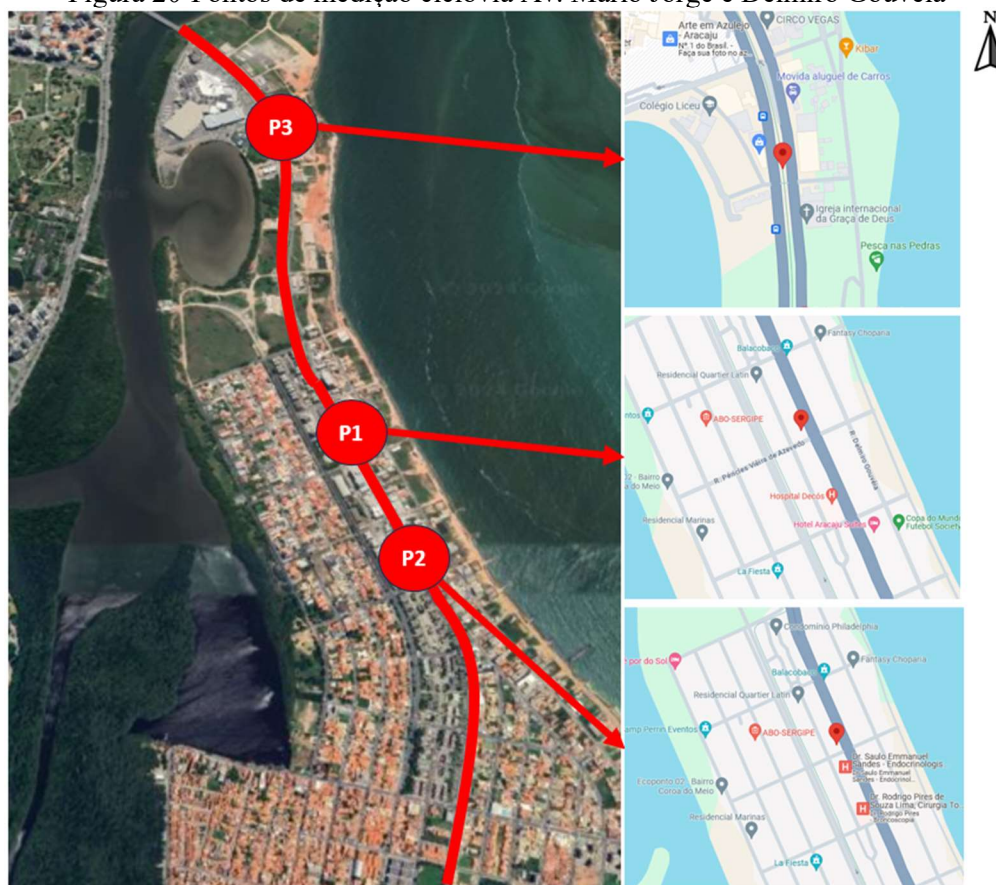
A partir da definição prévia de potenciais ciclovias a serem analisadas, foram identificados pontos de interesse por meio do estabelecimento de critérios e fatores relevantes a exemplo de posicionamento na cidade e características físicas apresentadas. Para a condução do levantamento, utilizando o site *Google Maps* (GOOGLEMAPS, 2023). Entre as ciclovias investigadas, listadas em ordem de levantamento, incluem-se aquelas localizadas nas avenidas: Mário Jorge de Menezes, Delmiro Gouveia, Paulo VI, Josino José de Almeida, Francisco José da Fonseca, Etelvino Alves, João Rodrigues, São Paulo e Augusto Franco.

Com o propósito de realizar uma análise preliminar (estudo piloto), foram selecionadas as ciclovias localizadas nas avenidas Mário Jorge de Menezes e Delmiro Gouveia. Nesse estudo específico, informações foram coletadas em diferentes horários no mesmo ponto, bem como, maiores quantidades de amostras. Esse conjunto de dados ajudaram a definir padrões de coletas para as próximas amostras. A seguir serão apresentadas as ciclovias objetos desse estudo destacando, as principais características físicas e dados de localização.

As primeiras ciclovias avaliadas nessa pesquisa foram as ciclovias das avenidas Mário Jorge de Menezes e Delmiro Gouveia. Ambas as ciclovias são abordadas conjuntamente devido à sua localização contígua dentro do mesmo bairro, Coroa do Meio. Encontra-se em proximidade às principais vias urbanas da cidade, abrangendo uma extensão de aproximadamente 3,1 quilômetros. São caracterizadas por intenso tráfego veicular, além de contar com uma diversidade de estabelecimentos comerciais e residenciais ao longo de suas margens.

Esse foi o primeiro levantamento em campo após planejamento metodológico inicial da pesquisa, considerado, portanto, como o estudo piloto deste trabalho. Neste estudo piloto foram realizadas coletas em horários distintos (picos e entre picos de tráfego veicular), compondo uma quantidade amostral com o intuito de ajudar a estabelecer roteiros metodológicos a serem replicados nas demais ciclovias investigadas neste trabalho. Para amostragem, foram definidos três pontos levando em consideração as características físicas da localização da ciclovia bem como do seu entorno, resultando nos pontos: P1, P2 e P3, conforme Figura 20.

Figura 20-Pontos de medição ciclovias Av. Mario Jorge e Delmiro Gouveia



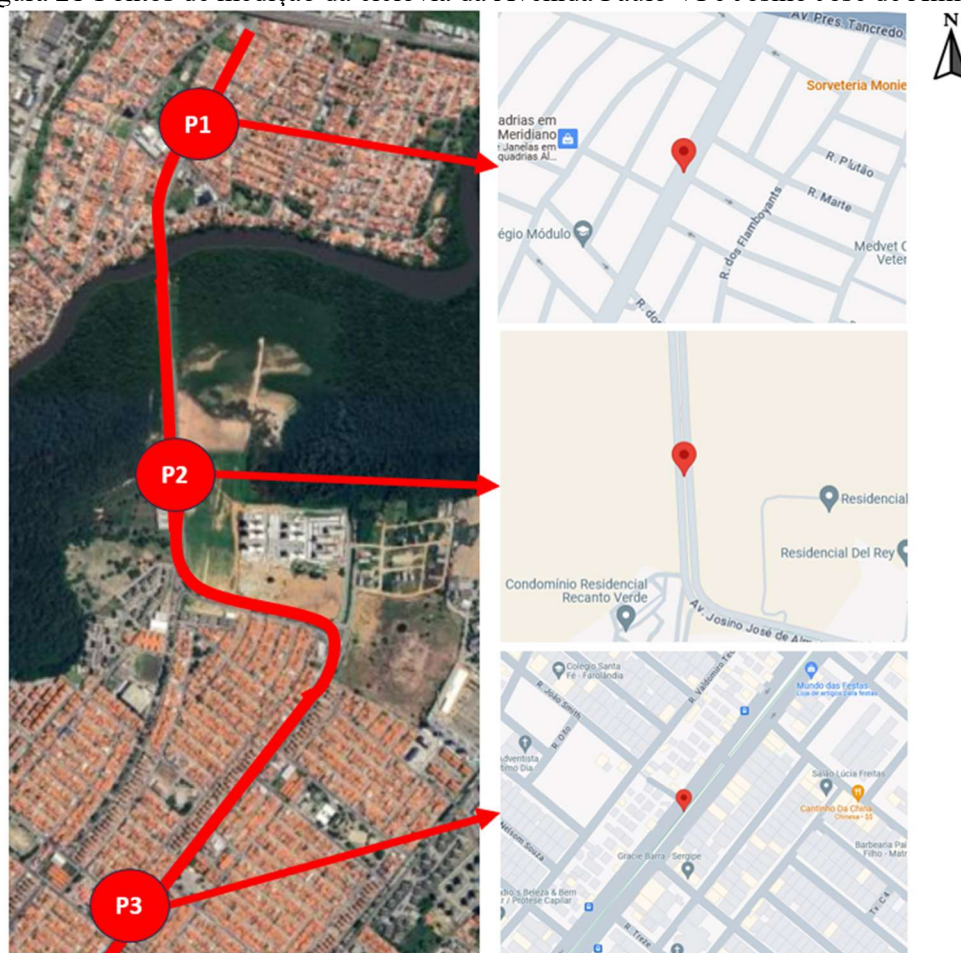
Fonte: Adaptação de Google Earth (2023) e Google Maps (2023).

Os pontos P1 e P2 estão localizados na ciclovias da Av. Mário Jorge Menezes e o ponto P3 na Av. Delmiro Gouveia, possuindo a seguinte localização:

- **P1** – Av. Mário Jorge de Menezes Vieira com coordenadas $10^{\circ}57'28.0''S$ $37^{\circ}02'37.7''W$;
- **P2** – Av. Mário Jorge de Menezes Vieira com coordenadas $10^{\circ}57'39.0''S$ $37^{\circ}02'32.2''W$;
- **P3** – Av. Delmiro Gouveia com coordenadas $10^{\circ} 56 '51.2 ''S$ $37^{\circ}02' 43.7''W$.

Na sequência, foram avaliadas as ciclovias da Avenida Paulo VI e Josino José de Almeida. Assim como a condição da ciclovias anterior, as duas ciclovias representadas na Figura 21, estão sendo abordadas em conjunto por fazerem parte do mesmo segmento. No entanto, no caso específico desta ciclovias, ela atravessa os bairros Inácio Barbosa e Farolândia, possuindo alterações significativas em seu entorno. A maior parte da ciclovias está inserida em uma área mista, caracterizada pela presença de estabelecimentos comerciais e residências. Essa rota desempenha um papel fundamental como uma das opções essenciais de conexão para a zona sul da cidade de Aracaju.

Figura 21-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Paulo VI e Josino José de Almeida



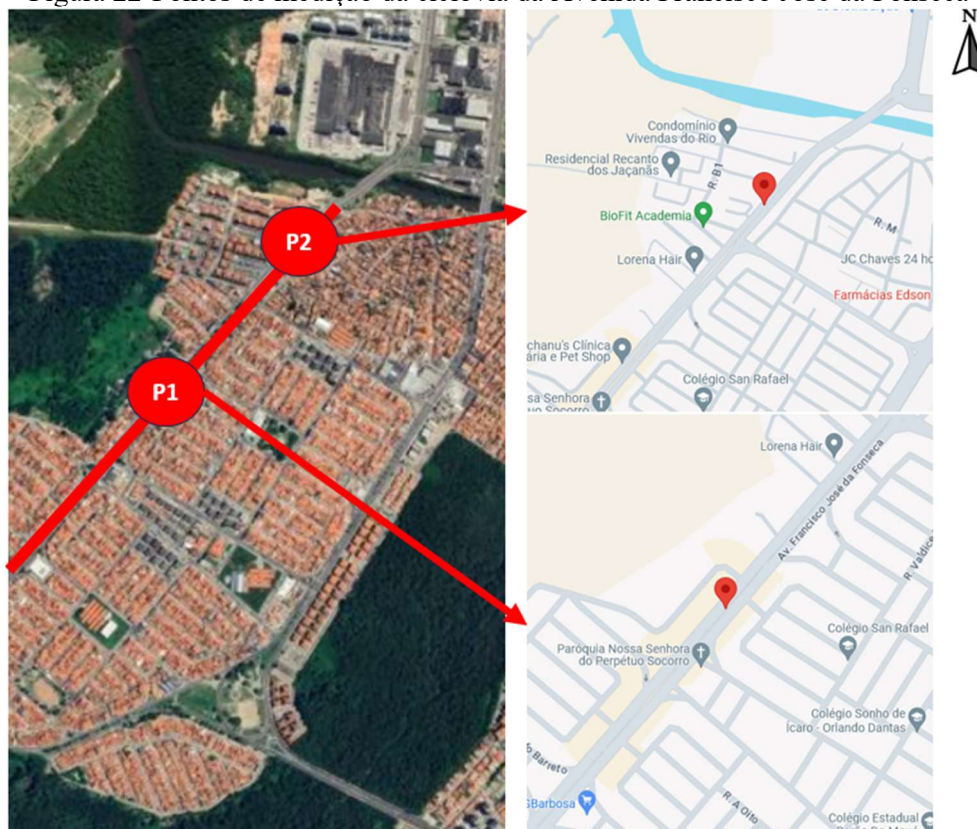
Fonte: Adaptação de Google Earth (2023) e Google Maps (2023).

As mudanças substanciais presente nesse percurso motivaram a identificação de três pontos distintos, conforme ilustrado na Figura 19, com as seguintes localizações:

- **P1:** Avenida Paulo VI, com coordenadas 10°57'11.5"S 37°04'04.8"W;
- **P2:** Avenida Josino José de Almeida, com coordenadas 10°57'46.7"S 37°04'08.4"W;
- **P3:** Avenida Josino José de Almeida, com coordenadas 10°58'15.4"S 37°04'04.2"W.

Dando continuidade, em sequência foi avaliada a ciclovia da Avenida José da Fonseca. Essa ciclovia está localizada dentro do bairro São Conrado (zona centro-oeste da cidade de Aracaju), possuindo continuidade pelas avenidas Etelvino Alves e Augusto Franco. Tem como característica a presença de casas residenciais e comércio, liga-se ao centro da cidade cruzando o bairro Ponto Novo, conforme Figura 22.

Figura 22-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Francisco José da Fonseca



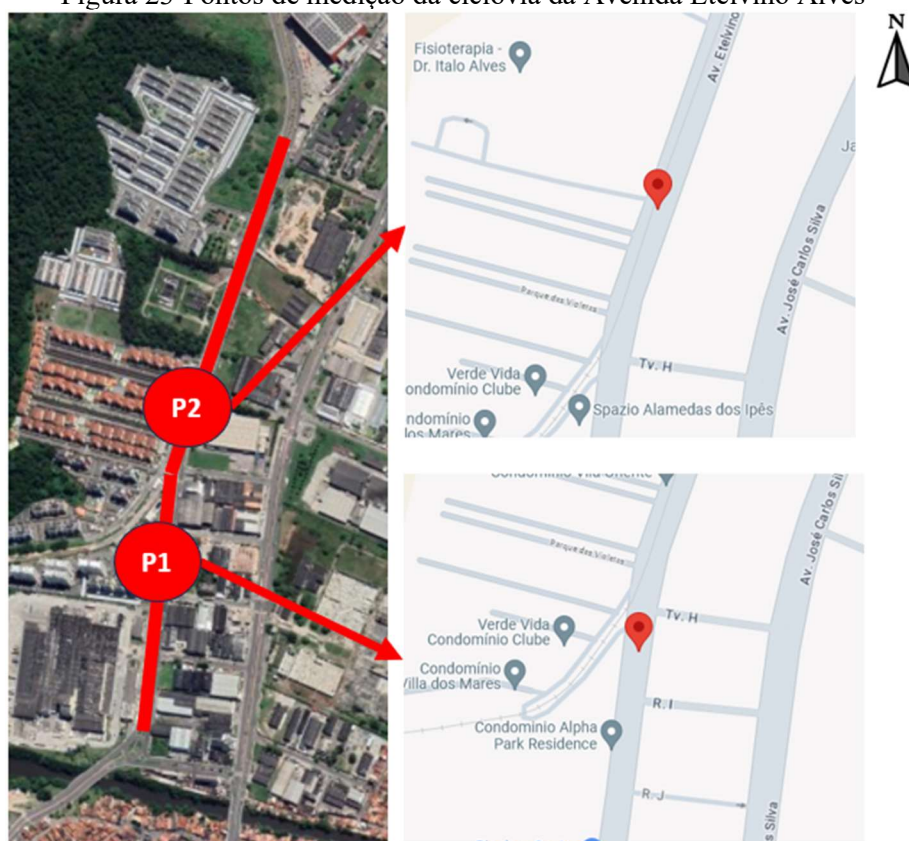
Fonte: Adaptação de Google Earth (2023) e Google Maps (2023).

Para essa ciclovia os pontos P1 e P2 estão localizados na mesma avenida, com coordenadas:

- **P1** – 10°57'53.3"S 37°05'06.5"W
- **P2** – 10°57'40.0"S 37°04'55.1"W

Com localização na zona sul da cidade, a ciclovia da avenida Etelvino Alves encontra-se no bairro Inácio Barbosa. O trecho analisado está no segmento de outras duas ciclovias destacadas neste estudo: a ciclovia Francisco José e a ciclovia Augusto Franco, conforme Figura 23. Os pontos de interesse ficam em zona predominantemente residencial, com diversos condomínios, conta ainda com indústrias de pequeno porte nas proximidades, terrenos descampados e alguns pontos comerciais.

Figura 23-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Etelvino Alves



Fonte: Adaptação de Google Earth (2023) e Google Maps (2023).

Semelhante à condição da ciclovia anterior, os pontos de medição estão localizados dentro da mesma via, sendo eles:

- **P1** – 10°57'15.8"S 37°04'41.5"W
- **P2** – 10°57'07.7"S 37°04'39.5"W

Localizada no bairro Industrial e dando acesso ao bairro Porto Dantas, a ciclovia da Avenida João Rodrigues foi uma das poucas analisadas em que possui sentido de fluxo em mão única, com ciclovia lateralizada em relação a via, passando em proximidade às residências, motivo pelo qual surgiu interesse em realizar levantamento em dois pontos distintos, conforme Figura 24.

Figura 24-Pontos de medição da ciclovia da Avenida João Rodrigues



Fonte: Adaptação de Google Earth (2023) e Google Maps (2023).

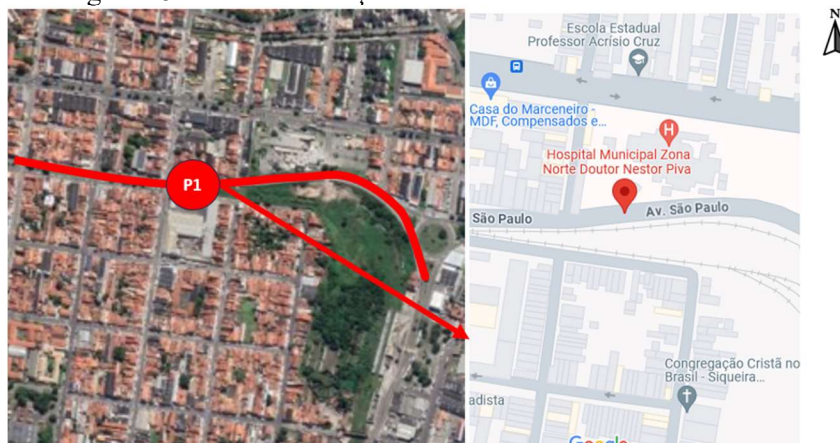
Embora esteja presente no mesmo segmento, o ponto P1 está localizado em proximidade a residências, enquanto o ponto P2 está localizado em proximidade ao *shopping* da região. As coordenadas dos pontos são:

- **P1** – 10°53'36.6"S 37°03'05.5"W
- **P2** – 10°54'03.5"S 37°03'01.5"W

A ciclovia da avenida São Paulo está localizada dentro do bairro 18 do Forte (Figura 25), em área predominantemente residencial com algumas instalações comerciais. Nesta ciclovia foi selecionado apenas um ponto com coordenadas:

- **P1** – 10°54'19.1"S 37°04'03.7"W

Figura 25-Ponto de medição da ciclovia da Avenida São Paulo

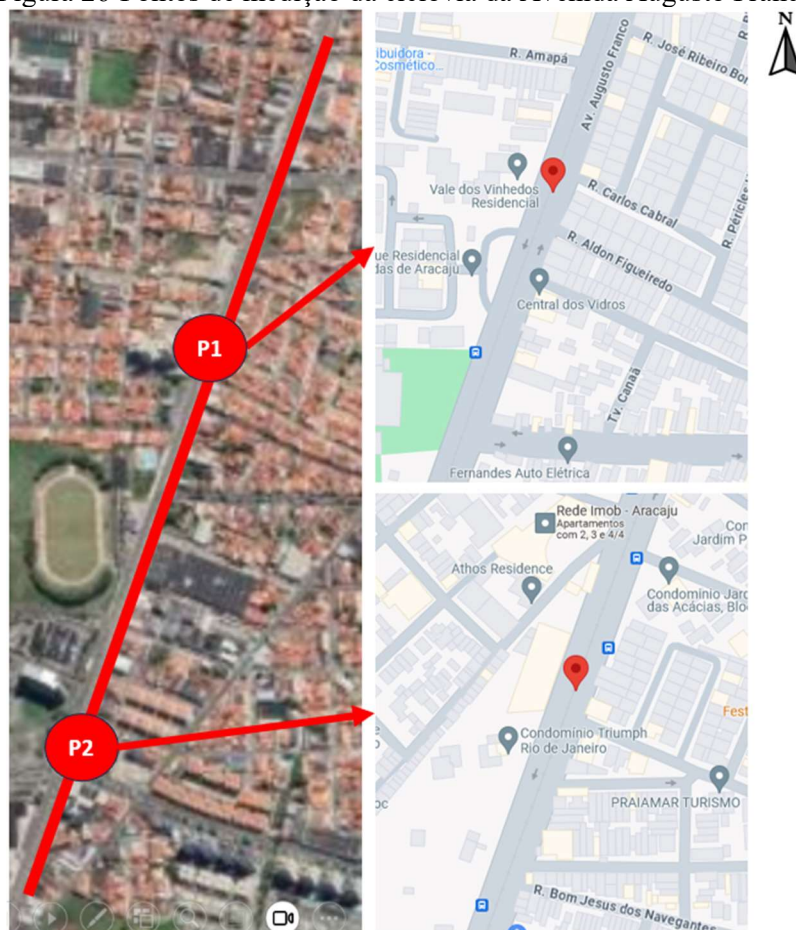


Fonte: Adaptação de Google Earth (2023) e Google Maps (2023).

Com aproximadamente 4 quilômetros de extensão, a ciclovia da Avenida Augusto Franco passa por vários bairros, incluindo: Siqueira Campos, Ponto Novo e Getúlio Vargas. Em seu entorno, possui várias residências além de uma variedade de serviços disponíveis como faculdade, escolas, posto de combustíveis entre outros tipos de comércio. A fim de caracterizar o ruído sobre o ciclista, conforme a Figura 26, foram selecionados dois pontos nessa avenida:

- **P1** – 10°55'16.3"S 37°04'13.2"W
- **P2** – 10°55'52.5"S 37°04'26.5"W

Figura 26-Pontos de medição da ciclovia da Avenida Augusto Franco



Fonte: Adaptação de Google Earth (2023) e Google Maps (2023).

3.4 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

As medições dos Níveis de Pressão Sonora (NPS) foram realizadas utilizando-se um sonômetro juntamente com protetor de vento no microfone e calibrador (Figura 27c), modelo: *Larson Davis SoundTrack LxT*, que foi generosamente disponibilizado pela Professora Doutora Tereza Raquel, docente do Departamento de Fonoaudiologia da Universidade Federal de Sergipe (UFS) - Campus São Cristóvão. O equipamento foi utilizado em maior parte do tempo com auxílio de um tripé (Figura 27b), sendo realizadas tomadas de 10 minutos para coleta dos dados sonoros.

O *Larson Davis SoundTrack LxT*, é um equipamento de medição de ruído que oferece várias funções para análise do NPS, incluindo a ponderação de frequência A, C e Z, além de medidas de tempo de resposta e registro de valores máximos e mínimos. É um instrumento portátil, leve e fácil de usar, que pode ser utilizado para medir o ruído em diferentes ambientes, incluindo ciclovias. Além disso, o LxT também possui recursos de armazenamento de dados, permitindo que as informações coletadas sejam transferidas para um computador para posterior análise.

Já para a coleta dos parâmetros mínimos de medição preconizados pelas normas NBR 10151 (ABNT, 2019) e NBR 16425 (ABNT, 2020), utilizou-se um Termo-higro-anemômetro digital, modelo KR825, como ilustrado na Figura 27a, possibilitando a coleta de dados relacionados a temperatura no local, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Cumpre mencionar que, para a aferição das dimensões físicas da ciclovia e do entorno próximo, uma trena digital também foi empregada (Figura 27d).

Figura 27-Equipamentos utilizados para coleta de dados acústicos: a) Termo-higro-anemômetro, b) Montagem tripé e sonômetro, c) Calibrador, d) Trena



Fonte: Elaborado pelo Autor

Para o tratamento dos dados coletados e a subsequente contagem do fluxo de veículos por categoria, foram utilizados computadores e softwares com finalidades distintas.

O Aplicativo *Multi Counter*, disponível na *Play Store*, possibilitou contagens a partir de configurações personalizadas de acordo com o propósito pretendido. Utilizado em laboratório, foi empregado para contagem de veículos por categorias e controle de usuários da ciclovia, gravados em vídeos durante as medições. As categorias contabilizadas incluíram Motos, Veículos Leves, Veículos Pesados e Ciclistas, todas as contagens foram aplicadas junto as ciclovias analisadas. O aplicativo atendeu às expectativas.

Já a Planilha Eletrônica (Excel) e o aplicativo *Jamovi* foram utilizados para tratamento e organização dos dados coletados.

3.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

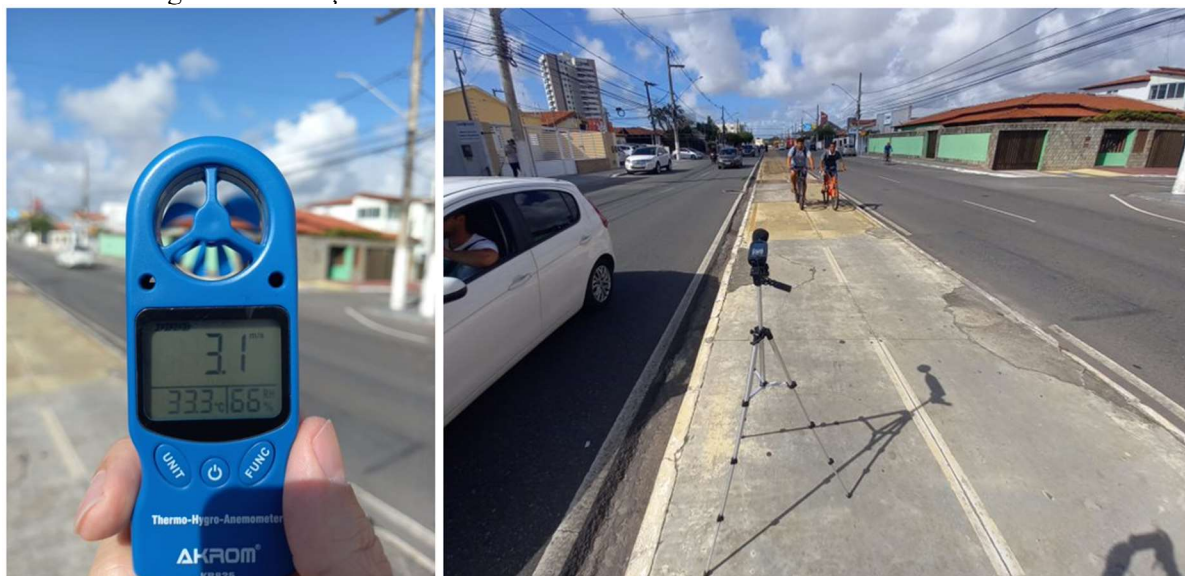
A partir dos dados disponibilizados pela SMTT do município de Aracaju, contendo análise dos principais pontos de monitoramento de tráfego de veículos da cidade, foi realizado um levantamento das principais vias com presença de ciclovias, com ênfase em aspectos do fluxo veicular, das características físicas destas vias e entorno próximo, incluindo as ciclovias. A partir deste levantamento, foi realizado o geo-referenciamento dos pontos de coleta de dados nos objetos de estudo - ciclovias investigadas nesta pesquisa através do *Google Earth* e *Google Maps*.

Uma vez que os requisitos ambientais são cruciais para a precisão das medições de nível pressão sonora, as normas NBR 10151 (ABNT, 2019) e NBR 16425 (ABNT, 2020) estabelecem critérios ambientais para a execução das medições acústicas. Sendo assim, não foram realizadas medições em condições desfavoráveis, como chuvas, trovoadas ou situações climáticas não alinhadas com as especificações dos instrumentos. Parâmetros ambientais como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos, foram monitorados durante o processo de medição, com exceção das medições pré-teste realizadas durante o estudo piloto nas ciclovias das avenidas Mário Jorge de Menezes e Delmiro Gouveia. Também foi realizada a calibração prévia do sonômetro e a garantia de tempo suficiente para caracterizar o som do objeto medido e a exclusão de resultados afetados por sons indesejados, destacando a importância de relatar os tempos de medição e integração.

Buscou-se durante as medições obedecer aos critérios mínimos elencados para execução das medições. Na maior parte das execuções de medição, o sonômetro ficou localizado a altura de 1,20 m do solo com auxílio de um tripé. Quando não foi possível a utilização do tripé (devido

restrição da via), o sonômetro era segurado na mão conforme NBR 10151 (ABNT, 2019). Já para a medição da velocidade do vento foi utilizado um Termo-higro-anemômetro digital, com monitoramento durante as medições (Figura 28).

Figura 28-Medição com sonômetro e monitoramento das variáveis ambientais



Fonte: Elaborado pelo Autor

Em virtude das características específicas de cada ciclovias, por exemplo, largura, existência de anteparos, fluxo de ciclistas, houve necessidade de realizar ajustes de posicionamento do sonômetro *in loco*, conforme Figura 29, a fim de evitar influências nas passagens dos ciclistas e eventuais acidentes.

Figura 29-Ajuste de posicionamento do sonômetro nas medições



(a)

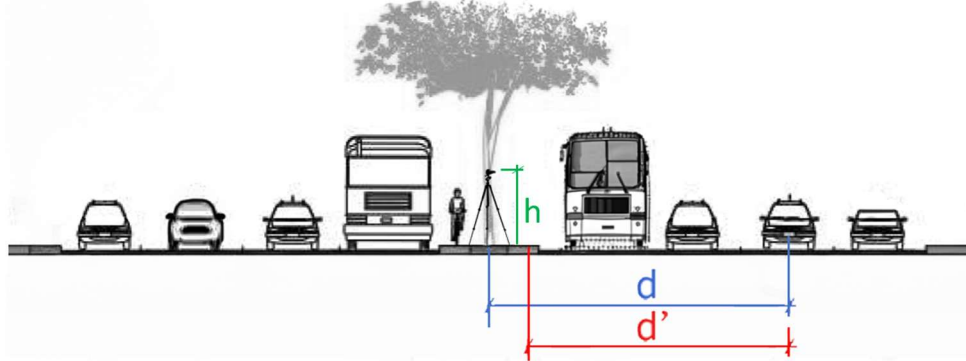
(b)

Fonte: Elaborado pelo Autor

A figura 30 demonstra esquematização aplicada à coleta de dados nos pontos de interesse da ciclovias. Em destaque a medição sonora a partir da distância da fonte emissora, onde "h"

representa a altura de instalação do sonômetro (1,20 m), d a distância do sonômetro até o eixo da via e d' sendo a distância utilizada para correção dos dados sonoros.

Figura 30-Exemplo de coleta de variáveis em relação à distância da via.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Em função dos ajustes do sonômetro nas ciclovias e com o intuito padronizar a comparação entre os valores coletados para o ponto da ciclovia, houve necessidade de correção dos valores obtidos de níveis de pressão sonora a partir da distância em relação a fonte emissora, sendo representado por d' em metros. A correção dessa variável, altera diretamente os valores de L_{Aeq} gerando um L_{Aeq}' , através da Equação 5, adaptada de (BRÜEL e KJÆR, 2000).

Como forma de facilitar a compreensão e a aplicabilidade da metodologia aplicada, a representação das variáveis foi alterada, sendo representada pela Equação 6.

$$L_{Aeq} = L_{Aeq} - 10 \log \frac{d'}{d} \quad (6)$$

Onde:

L_{Aeq} = o nível de pressão sonora medido inicialmente, em dB.

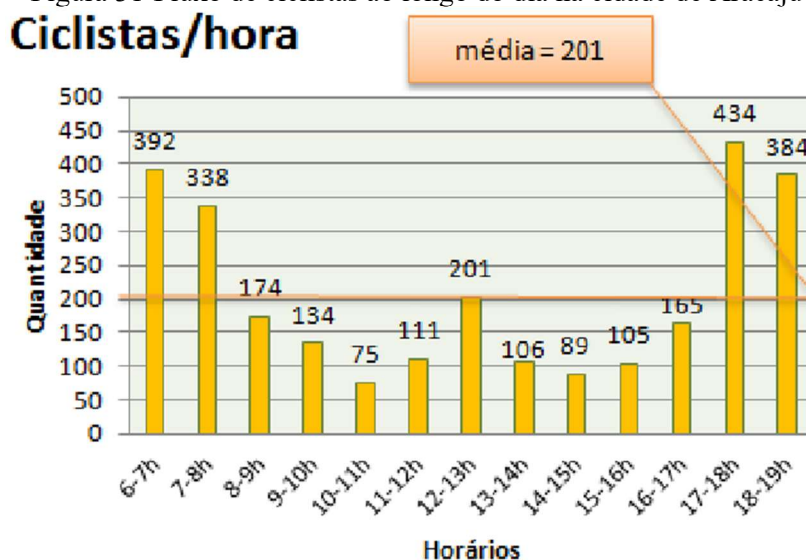
L_{Aeq}' = o nível de pressão sonora corrigida no local 2, em dB.

d = a distância da fonte sonora ao local 1, em m.

d' = a distância da fonte sonora ao local 2, em m.

Por fim, para definição dos horários de coleta dos dados, foi realizada consulta ao Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PPDU) de Aracaju (PMA, 2015). A partir dessa pesquisa os resultados revelaram que uma parcela significativa dos ciclistas se deslocava para áreas como Av. Tancredo Neves (23,72%) e Av. Beira Mar (21,42%), assim como para os bairros Siqueira Campos (31,25%) e Ponto Novo (23,60%). A maioria dos ciclistas originava-se desses bairros periféricos (56,27%), utilizando a bicicleta para acessar outras regiões da cidade. Observou-se ainda que uso mais frequente da bicicleta ocorre nos horários de pico, conforme Figura 31, alinhado com a demanda de deslocamento casa/trabalho.

Figura 31-Fluxo de ciclistas ao longo do dia na cidade de Aracaju



Fonte: PMDU, 2015

Com base nos dados do PPDU (PMDU, 2015) e observações *in loco*, definiu-se a coleta dos dados de tráfego e acústico no período entre 7:00h e 8:00h. Os horários entre 17:00h e 19:00h foi desconsiderado neste trabalho para as coletas de dados, pois haveria dificuldade da realização de coleta de dados de tráfego por meio de filmagens *in loco* orientação do estudo realizado e comprovações em observações realizadas *in loco*. Pelo fato de ser realizada filmagem para posterior contagem, o horário dificultaria a contagem do fluxo de usuários desejado (ciclistas, motos, veículos leves, veículos pesados) além da baixa visibilidade do período ser um fator de peso na geração de acidentes, devido à localização do equipamento e movimentação da equipe envolvida. Em algumas situações especiais, dentro desse horário pré-estabelecido, houve medições realizadas fora desse horário, uma vez que o fluxo intenso da via gerava congestionamento, o que acabava não retratando as maiores condições de exposição em relação ao ruído devido à parada dos carros.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo está subdividido em duas subseções: 4.1 RESULTADOS OBTIDOS POR CICLOVIA, onde serão apresentados e discutidos os resultados obtidos das coletas de dados físicos, de tráfego e acústicos nas ciclovias investigadas e entorno imediato, e 4.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO IMPACTO SONORO DAS CICLOVIAS INVESTIGADAS, onde o comportamento dos dados de todos os pontos são analisados em conjunto.

4.1 RESULTADOS OBTIDOS POR CICLOVIA

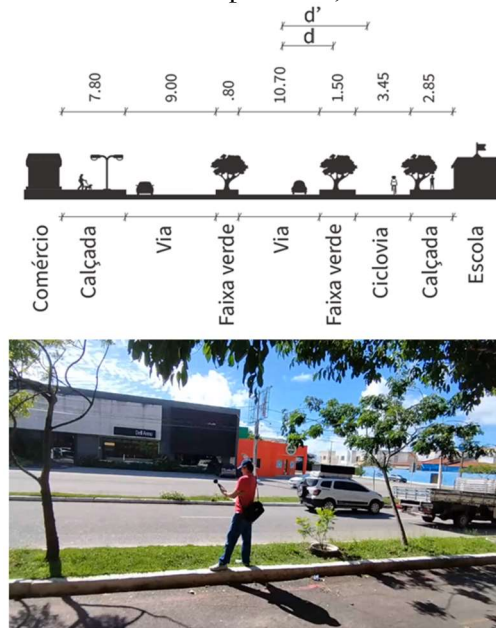
Conforme mencionado, em alguns pontos houve necessidade de correção dos valores de níveis de pressão sonora a partir da distância em relação aos eixos medidos (via de tráfego e ciclovia). Através das figuras que representam o posicionamento dos pontos, são mencionadas as distâncias de referência às posições de interesse. Neste contexto, a distância, d , representa a distância real da medição acústica, enquanto a distância, d' , representa a distância em que o nível sonoro foi ajustado e usado como referência para análise.

4.1.1 Ciclovia da avenida Mario Jorge de Menezes e Delmiro Gouveia

Para o ponto P1, conforme ilustrado na Figura 32 a ciclovia está posicionada lateralmente à via, a qual é de duplo sentido e separada por uma estreita faixa verde. Este local encontra-se em uma zona urbana de uso misto, abrangendo áreas residenciais, comerciais e escolares, com presença de arborização ao redor. A velocidade máxima na via é igual a 60 km/h.

Todos os pontos dessas ciclovias citada, foram medidos no mesmo dia. De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), disponíveis em seu Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (INMET, 2023), foi possível observar as variáveis ambientais (precipitação, pressão atmosférica, temperatura do ar e velocidade do vento) para o dia 30/05/2023 no horário compreendido das 9:00 horas às 14:00 horas, apresentando condições favoráveis à medição conforme preconizado em norma. Têm-se as seguintes informações dentro dos horários de intervalos de medição acústica: 0 mm, variando entre 1.016 mB a 1.017,9 mB, entre 25,6 °C e 28,6 °C, entre 1,0 m/s e 2,9 m/s, para as respectivas variáveis ambientais.

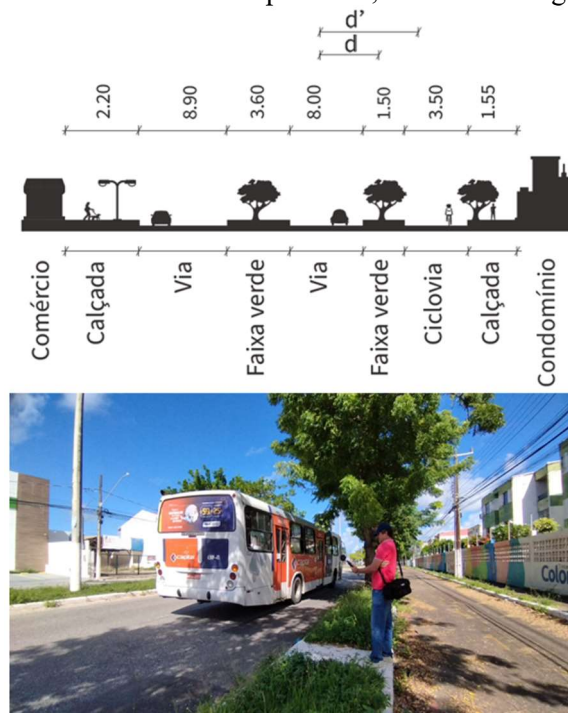
Figura 32-Posicionamento do ponto P1, Av. Mário Jorge Menezes



Fonte: Elaborado pelo Autor

Já no ponto P2, exemplificado na Figura 33, observa-se uma configuração semelhante, com ligeiras modificações no entorno da ciclovía, incluindo variações nas dimensões das calçadas e da via de tráfego. Assim como no ponto P1, há presença de árvores na faixa verde, e a área está situada em uma região predominantemente composta por condomínios e estabelecimentos comerciais.

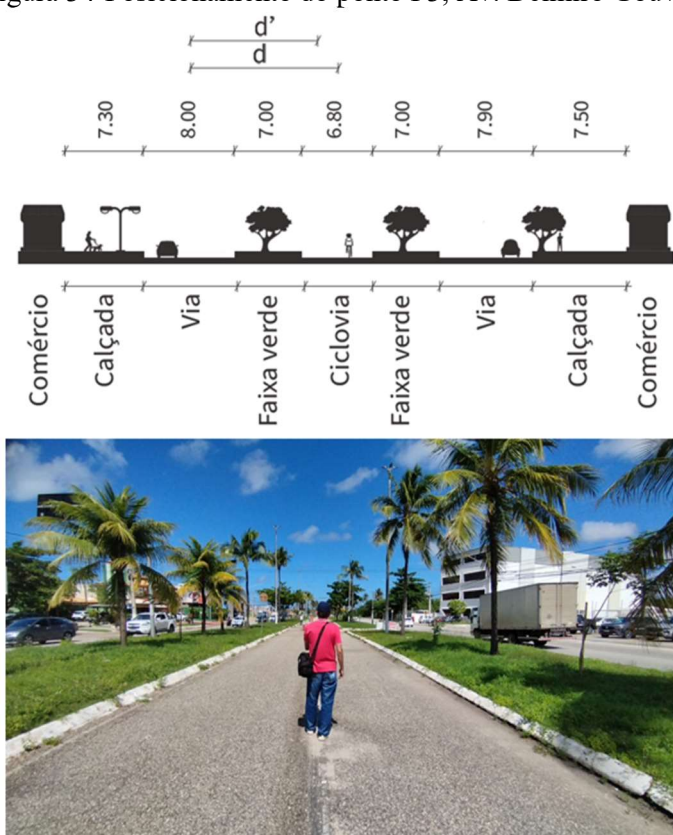
Figura 33-Posicionamento do ponto P2, Av. Mário Jorge Menezes



Fonte: Elaborado pelo Autor

Em relação a todos os aspectos analisados, o ponto P3 da ciclovia Delmiro Gouveia se destaca em relação às variáveis de interesse. Na Figura 34, apresenta-se o ponto em uma localização distinta das demais ciclovias, com a maior distância entre os eixos das vias analisadas (12,7 m). Nesse caso, o ciclista circula centralmente entre dois segmentos de faixa verde com 8,0 m de largura, proporcionando a maior distância de todas as análises realizadas em relação ao usuário da ciclovia e o ruído de tráfego veicular. Além disso, este foi o local com o maior fluxo de veículos entre os pontos analisados nesse trecho da ciclovia.

Figura 34-Posicionamento do ponto P3, Av. Delmiro Gouveia



Fonte: Elaborado pelo Autor

Os demais dados relacionados a características físicas e de fluxo veicular, foram coletadas e organizados na Tabela 6, a fim de expressar da melhor maneira possível os resultados coletados. Todas as medições dessa ciclovia foram efetuadas no dia 30/05/2023.

Tabela 6-Dados coletados da Av. Mário Jorge e Delmiro Gouveia

Ciclovía	Ponto	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10}-L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d' [m]	MT	VL	VP	Q
Av Mário Jorge de Menezes	P1-1	74,0	77,5	66,4	11,1	80,9	87,4	8,6	58	286	10	2126
	P2-1	72,9	77,1	61,6	15,5	93,7	92,6	6,4	48	225	12	1708
Av Delmiro Gouveia	P3	67,2	68,8	62,9	5,9	56,4	73,5	12,7	105	530	24	3954
Av Mário Jorge de Menezes	P1-2	74,0	77,4	66,8	10,6	78,7	86,4	8,6	63	349	9	2526
	P2-2	74,4	78,3	64,0	14,3	91,1	92,1	6,4	53	283	11	2084

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovía, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Através dos dados da Tabela 6, é possível inferir o comportamento de algumas variáveis. Os valores de $L_{Aeq'}$ se mantiveram estáveis durante as tomadas de medição, demonstrando homogeneidade dos dados, porém aqui estão sendo apresentados os valores de média logarítmica das tomadas. Ainda com relação ao $L_{Aeq'}$, pelo fato dos valores se situarem entre 65 e 75 dB, são classificados como ruidosos, em todos os pontos coletados dessa ciclovía. Também é possível verificar que os valores de L_{90} são bem maiores que os valores estabelecidos por norma, revelando que o principal contribuidor dos valores é um ruído intenso e constante. Os valores associados ao desconforto em relação ao ruído (TNI e L_{NP}) são maiores nos pontos em que a distância em relação aos usuários são menores. O menor valor registrado para TNI foi o do ponto P3 (56,4) situado abaixo de 65 dB, sendo classificado como de baixo incômodo. Para os pontos: P1-1, P1-2 os valores ficaram situados entre 75 e 65 dB recebendo a classificação de médio incômodo e o ponto P2-1 e P2-2 se destacam dos demais sendo classificado de incômodo “muito alto”.

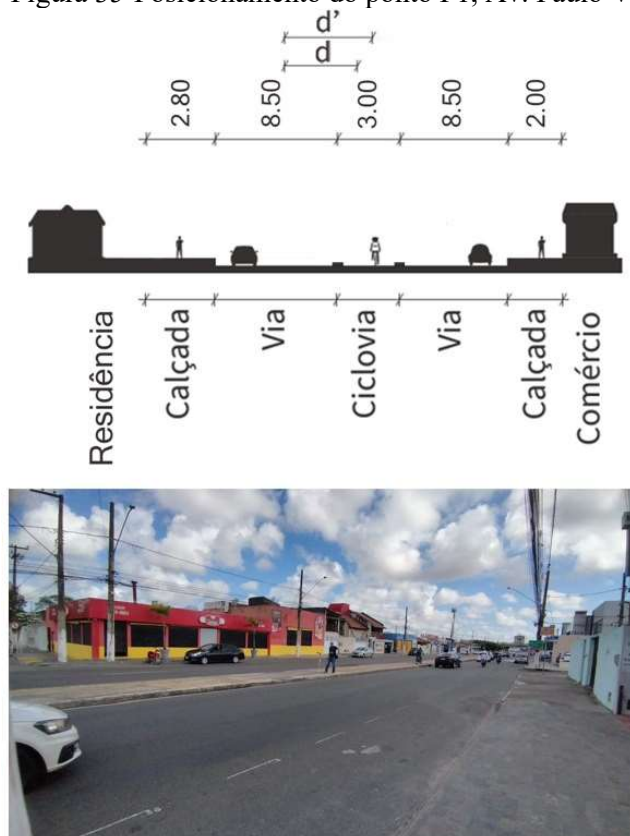
Ainda conforme a Tabela 6, no ponto P3 foram encontrados os maiores fluxos de veículos e coincidentemente foi o ponto em que o ciclista fica mais distante em relação ao ruído oriundo do tráfego veicular, conseqüentemente, todos os descritores acústicos tiveram valores menores por causa dessa variável.

4.1.2 Ciclovía da avenida Paulo VI e Josino José de Almeida

Semelhante às condições da ciclovía anterior, foram locados 3 pontos no mesmo segmento, selecionados a partir das características físicas do local.

A localização do ponto P1, visualizado na Figura 35, fica dentro do bairro Inácio Barbosa. Essa ciclovia está localizada em um ponto central em relação à via de mão dupla, com distância de 5,8 m entre os eixos da via e da ciclovia, assim os veículos compartilham da maior proximidade com os ciclistas, quando comparado aos pontos P2 e P3. Já para as variáveis ambientais, os valores máximos medidos foram: 3,8 m/s para a velocidade do vento, 35,3° C para a temperatura ambiente e 68% para a umidade relativa do ar.

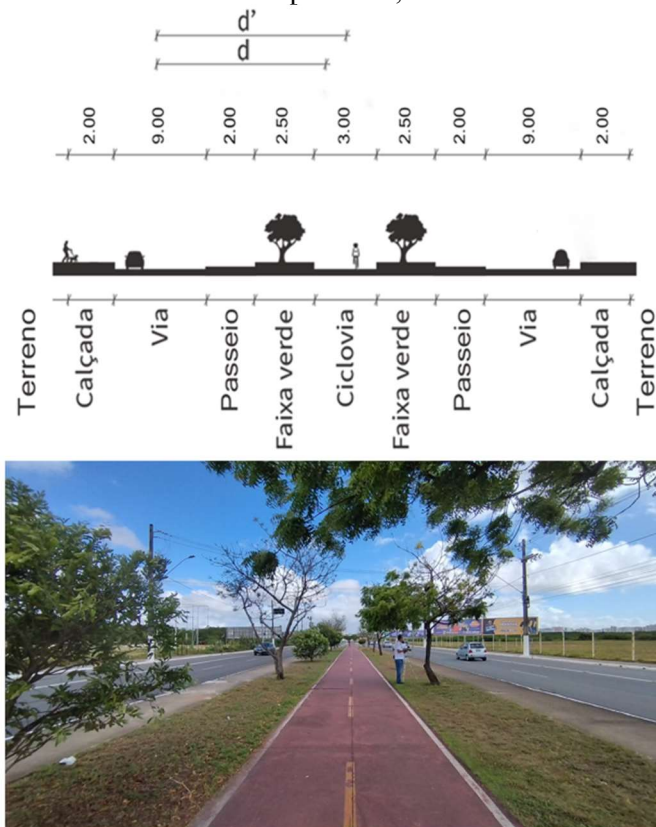
Figura 35-Posicionamento do ponto P1, Av. Paulo VI



Fonte: Elaborado pelo Autor

No mesmo segmento, no ponto P2 esquematizado na Figura 36, localizado na avenida Josino José de Almeida, a ciclovia encontra-se em área descampada sem proximidade a comércio e habitações residenciais, a ciclovia fica localizada de forma centralizada em relação à via, possuindo ainda faixa verde com arborização entre a via e o ciclista, aumentando assim a distância entre o tráfego de veículos e o usuário da ciclovia. Para as variáveis ambientais máximas registradas nesse ponto relacionadas à velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, foram encontrados respectivamente: 3,1 m/s, 33 °C e 82%.

Figura 36-Posicionamento do ponto P2, Av. Josino José de Almeida



Fonte: Elaborado pelo Autor

No último ponto do segmento, identificado como P3 na Figura 37, foi observada uma condição semelhante à do ponto P2. Neste caso, a ciclovía permanece centralizada em relação à via e apresenta arborização, porém em maior densidade. Além disso, esse ponto está localizado em uma área de uso misto, caracterizada pela presença de residências e estabelecimentos comerciais.

As distâncias entre os eixos da via e da ciclovía são ligeiramente menores em comparação com o ponto anterior, totalizando 9,5 metros. As variáveis ambientais registradas foram as seguintes: velocidade do vento de 1,7 m/s, temperatura ambiente de 32,3 °C e umidade relativa do ar de 66%.

Figura 37-Posicionamento do ponto P3, Av. Josino José de Almeida



Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Tabela 7, é possível visualizar demais variáveis coletadas no local. As medições dos pontos P1, P2 e P3, foram realizados em dias diferentes sendo: 10/10/2023, 11/10/2023 e 16/10/2023, com a obtenção dos seguintes resultados:

Tabela 7-Dados coletados da Av. Paulo VI e Av. Josino José de Almeida

Ciclovía	Ponto	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10}-L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d' [m]	MT	VL	VP	Q
Av Paulo VI	P1	74,4	77,2	68,8	8,4	72,6	84,1	5,8	167	410	9	3512
Av Josino José de Almeida	P2	70,6	73,0	65,8	7,2	64,7	78,8	10,5	175	410	9	3564
	P3	71,1	73,5	62,9	10,6	75,5	83,6	9,5	78	191	11	1678

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovía, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

Fonte: Elaborado pelo Autor

Ainda com relação a Tabela 7, é possível observar que a tomadas de valores se mantiveram constantes demonstrando constância dos dados. Todos os valores obtidos de $L_{Aeq'}$ se mantiveram bem acima dos estabelecidos por norma. Ainda com relação aos valores de $L_{Aeq'}$ todos podem ser classificados em ruidosos, possuindo uma grande contribuição dos valores de L_{90} são bem maiores que os valores limites estabelecidos por norma, revelando também que o

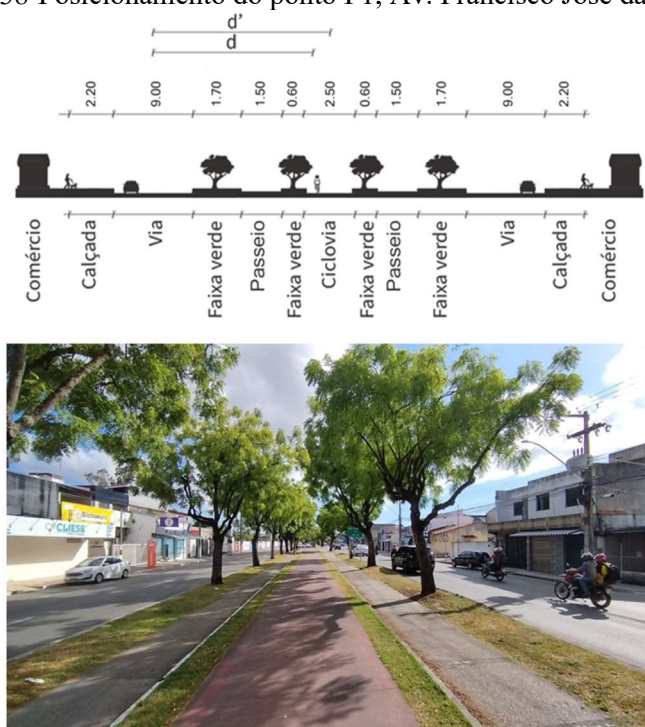
principal contribuidor dos valores é um ruído associado a intensidade e constância. Semelhante à ciclovia anterior, os valores de TNI e L_{NP} são maiores nos pontos em que a distância em relação aos usuários são menores. O menor valor registrado para TNI foi o do ponto P2 (o menor medido nessa ciclovia), foi de 64,7 classificado como grau de incômodo baixo. Para o ponto P1, o valor foi de 72,6, sendo classificado como de médio incômodo e no ponto P3, o valor de 75,5 com classificação de alto incômodo.

4.1.3 Ciclovia da avenida Francisco José da Fonseca

Respeitando o critério anterior com relação às características físicas da ciclovia, foram selecionados dois pontos. O ponto P1 esquematizado na Figura 38, situa-se em posição central em relação a via, distante 9,4 metros em relação ao eixo da via, com passeios e faixa verde arborizada entre esse distanciamento. Está localizado em uma zona de uso misto com comércio e residências, o limite máximo permitido na via é de 60 km/h.

Com relação as variáveis ambientais máximas registradas no momento da medição para velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura ambiente foram respectivamente: 2,0 m/s, 72% e 31,0 °C.

Figura 38-Posicionamento do ponto P1, Av. Francisco José da Fonseca

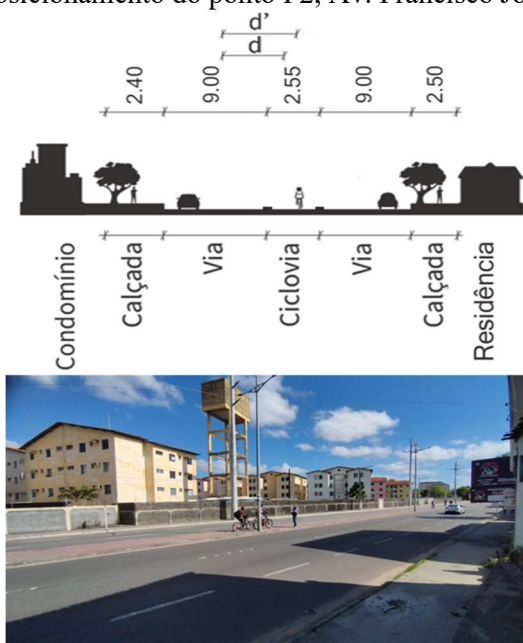


Fonte: Elaborado pelo Autor

Para o ponto P2 dessa mesma ciclovia, a Figura 39, esquematiza as distancias encontradas, em relação ao primeiro ponto, merece destaque pelo distanciamento reduzido, com 5,8 metros de distância em relação ao eixo da ciclovia e o eixo da via. Trata-se de uma área com predominância de residência e alguns pontos comerciais. Embora a localização desse ponto esteja entre muros e residências com certa proximidade, percebeu-se que não se caracteriza em uma situação de cânion urbano. Semelhante as outras cias analisadas, o limite máximo permitido na via é de 60 km/h.

Já com relação às variáveis ambientais máximas registradas no momento da medição foram: velocidade do vento: 2,1 m/s, humidade relativa do ar: 75% e temperatura ambiente: 28,3 °C.

Figura 39-Posicionamento do ponto P2, Av. Francisco José da Fonseca



Fonte: Elaborado pelo Autor

A mensuração dos dados coletados encontra-se na Tabela 8, onde é possível identificar os descritores acústicos avaliados, distâncias em relação a fonte de ruído e fluxo de veículos.

Tabela 8-Dados coletados da Av. Francisco José da Fonseca

Ciclovia	Ponto	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10} - L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d' [m]	MT	VL	VP	Q
Av Francisco José da Fonseca	P1	73,0	75,3	66,0	9,3	73,3	83,8	9,4	200	264	26	2938
	P2	79,4	82,3	72,5	9,8	81,8	90,9	5,8	211	331	26	3406

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovia, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

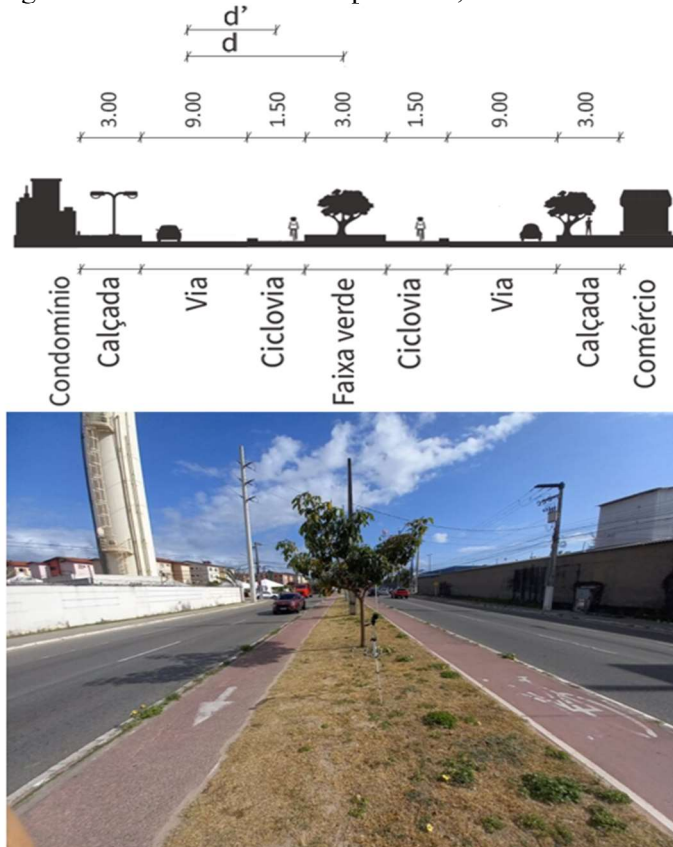
Fonte: Elaborado pelo Autor

Ainda com relação à Tabela 8, merece destaque o ponto P2, com o valor de $L_{Aeq'}$ sendo o mais alto medido de todos os pontos coletados no estudo, tal fato, pode ser atribuído à combinação de dois fatores, baixo distanciamento em relação ao usuário (5,8 m) e alto fluxo de veículos. Com o valor de 79,4 dB é classificado como muito ruidoso. Consequentemente os demais descritores acústicos acompanharam esse valor, para o TNI calculado de 81,8 para esse ponto, é classificado como de alto incômodo. Quando analisado o ponto P2 o valor de $L_{Aeq'}$ encontrado foi 73,0 dB, sendo classificado como ruidoso, já o valor de TNI foi de 83,3 sendo classificado como grau de incômodo médio.

4.1.4 Ciclovias da avenida Etelvino Alves

A primeira medição da ciclovias da Avenida Etelvino Alves está localizada em uma zona residencial com presença de comércio. A ciclovias por sua vez, encontra-se centralizada em relação a via. Avenida João Rodrigues está localizado em um local de uso misto, com presença de residências e comércio (Figura 40). A distância em relação ao eixo da via é de 5,0 m, já os valores medidos durante amostragem foram: para a velocidade do vento 2,4 m/s, umidade 68% e temperatura ambiente 33,9°C.

Figura 40-Posicionamento do ponto P1, Av. Etelvino Alves

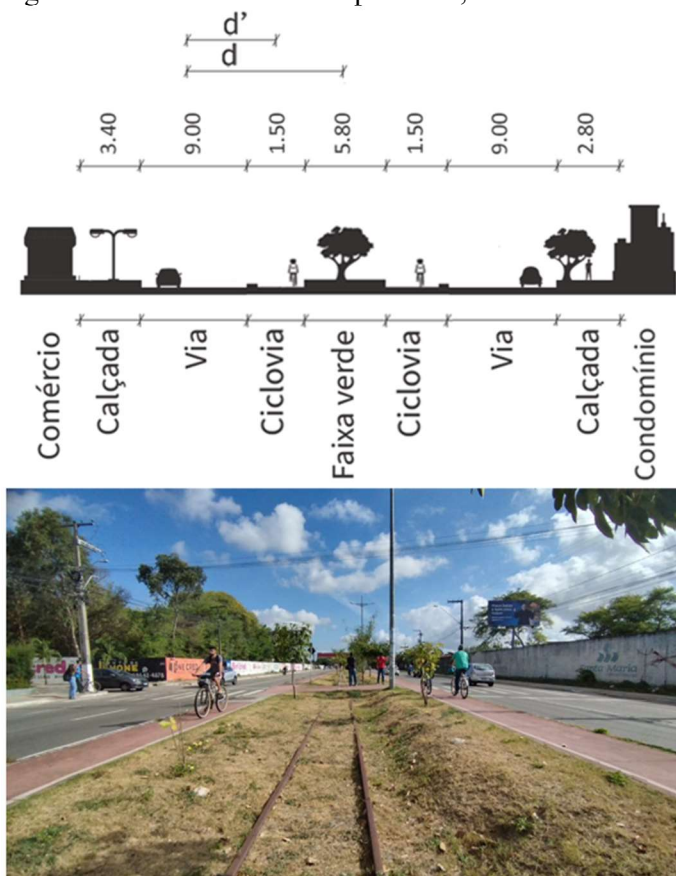


Fonte: Elaborado pelo Autor

Já o ponto P2 fica situado em zona semelhante a P1 (condomínio fechado e comércio), também com posição centralizada em relação a via (Figura 41). A distância em relação ao eixo da via é de 5,0 m.

Os valores máximos das variáveis ambientais monitoradas na medição foram: para a velocidade do vento 3,0 m/s, umidade 85% e temperatura ambiente 36,2°C.

Figura 41-Posicionamento do ponto P2, Av. Etelvino Alves



Fonte: Elaborado pelo Autor

Através da Tabela 9, é possível analisar a mensuração dos dados coletados.

Tabela 9-Dados coletados da Av. Etelvino Alves

Ciclovia	Ponto	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10} - L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d' [m]	MT	VL	VP	Q
Av Etelvino Alves	P1	78,8	81,2	72,5	8,7	77,4	88,6	5,3	261	445	30	4420
	P2	76,9	78,7	70,8	7,9	72,6	85,6	5,3	263	481	33	4666

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovia, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

Fonte: Elaborado pelo Autor

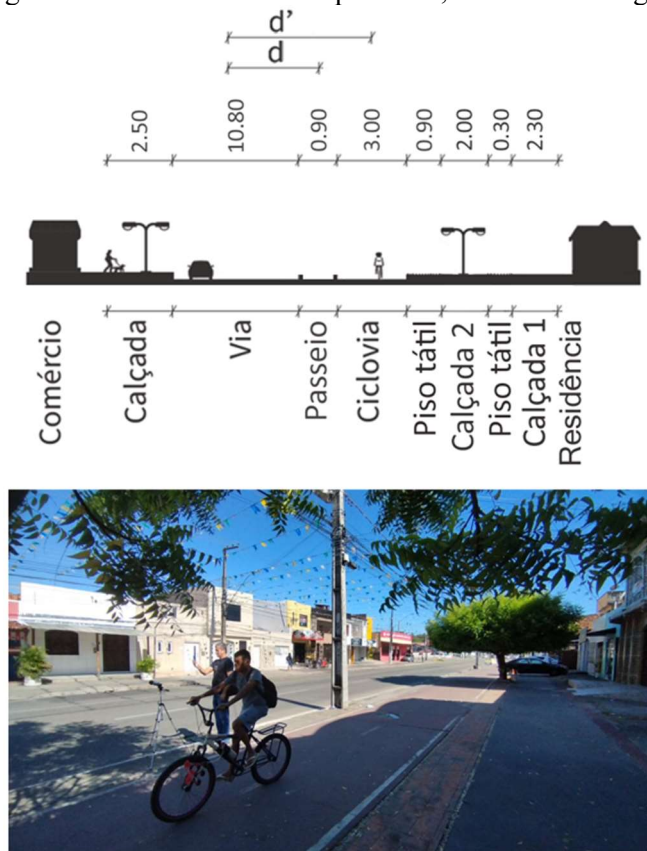
Através da Tabela 8 é possível destacar os valores de L_{Aeq} dos pontos P1 e P2 com valor de 78,8 dB e 76,9 dB respectivamente ambos classificados com muito ruidosos. Já para os valores de TNI são classificados como de médio incômodo, com valores de 77,4 para o P1 e 72,6 para o P2.

4.1.5 Ciclovía da avenida João Rodrigues

O ponto P1 da Avenida João Rodrigues está localizado em um local de uso misto, com presença de residências e comércio (Figura 42). A ciclovía está localizada de forma lateralizada em relação a via que é de sentido único. A distância do eixo da via para o eixo da ciclovía é de 6,5 m.

Os valores das variáveis ambientais monitoradas no dia foram: Já para as variáveis ambientais, os valores máximos medidos foram: 3,8 m/s para a velocidade do vento, 35,3° C para a temperatura ambiente e para a umidade relativa do ar 68%.

Figura 42-Posicionamento do ponto P1, Av. João Rodrigues

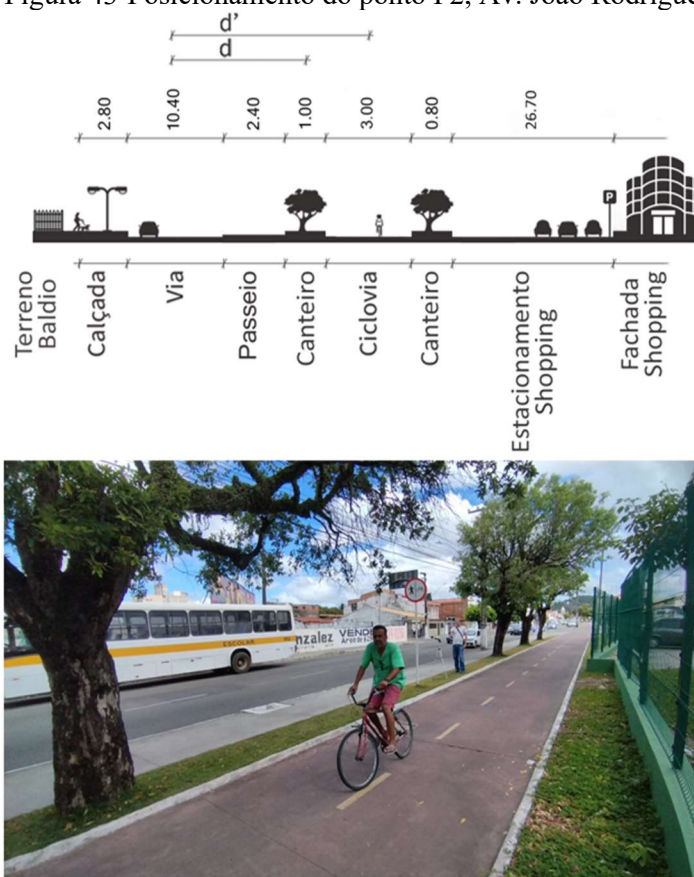


Fonte: Elaborado pelo Autor

A Figura 43 esquematiza o ponto P2, onde é possível encontrar uma ciclovia também lateralizada em relação a via, com presença de *shopping* e áreas para construção. A distância do eixo da via para o eixo da ciclovia é de 5,9 m.

Os valores das variáveis ambientais monitoradas no dia foram: Já para as variáveis ambientais, os valores máximos medidos foram: 3,8 m/s para a velocidade do vento, 35,3° C para a temperatura ambiente e para a umidade relativa do ar 68%.

Figura 43-Posicionamento do ponto P2, Av. João Rodrigues



Fonte: Elaborado pelo Autor

Demais dados complementares dessa ciclovia são abordados na Tabela 10.

Tabela 10-Dados coletados da Av. João Rodrigues

Ciclovia	Ponto	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10}-L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d' [m]	MT	VL	VP	Q
Av João Rodrigues	P1	73,5	77,0	58,6	18,4	102,3	97,7	7,8	116	131	7	1528
	P2	72,5	75,7	62,6	13,1	85,6	88,9	10,2	159	276	17	2712

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovia, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

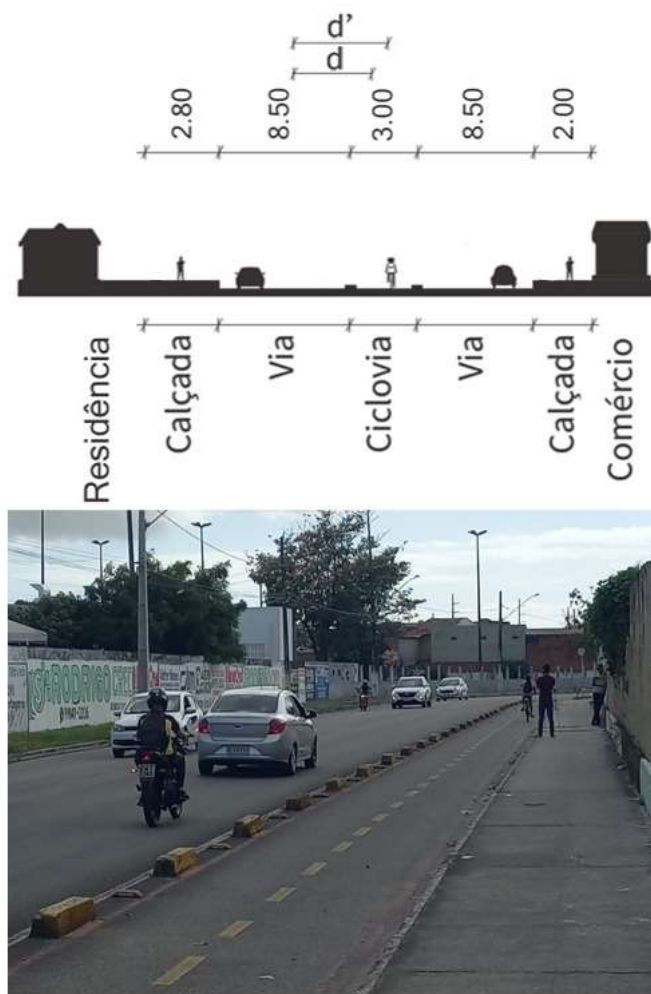
Fonte: Elaborado pelo Autor

Além dos valores elevados $L_{Aeq'}$ dos dois pontos analisados, o que mais chama atenção nessa análise são os altos valores de TNI revelando ser um ambiente que causa um incômodo muito alto.

4.1.6 Ciclovía da avenida São Paulo

Para essa ciclovía apenas um ponto foi avaliado, uma vez que sua configuração física bem como seu entorno não possui diferenças substanciais em relação as demais analisadas. Esse ponto está próximo a uma unidade de saúde, casas residenciais e terrenos baldios (Figura 44). O fluxo de veículos se dá em um único sentido e a ciclofaixa se encontra lateralizada em relação a via, com distâncias entre eixos de 5,4 m. As variáveis ambientais coletadas foram: 4,5 m/s para a velocidade do vento, 75% para a umidade e 32,5°C para a temperatura ambiente.

Figura 44-Posicionamento do ponto P1, Av. São Paulo



Fonte: Elaborado pelo Autor

Demais dados complementares dessa ciclovía são abordados na Tabela 11.

Tabela 11-Dados coletados da Av. São Paulo

Ciclovias	Ponto	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10} - L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d' [m]	MT	VL	VP	Q
Av São Paulo	P1	74,3	77,0	67,2	9,8	76,6	85,7	5,4	158	196	5	2154

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovias, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

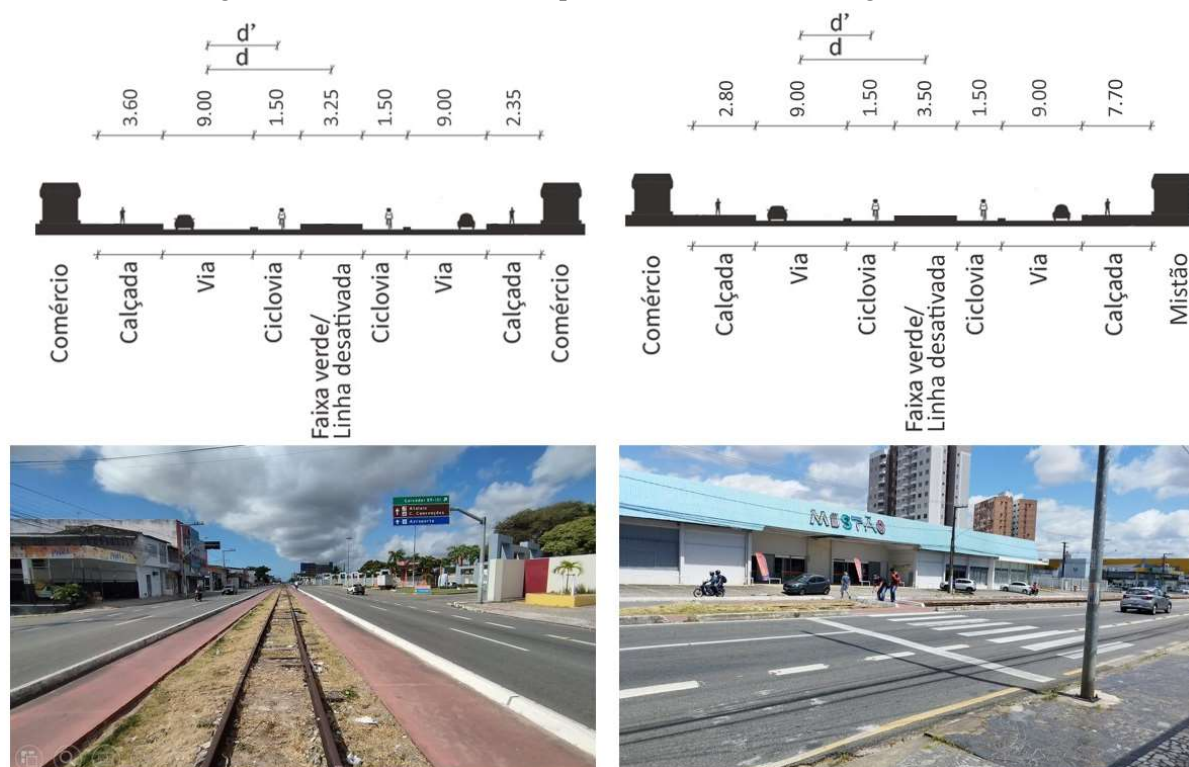
Fonte: Elaborado pelo Autor

Os valores elevados $L_{Aeq'}$ (74,3 dB) corresponde a um local ruidoso, já para o valor de TNI (76,6) corresponde a um local com grau de incômodo médio em relação ao ruído.

4.1.7 Ciclovias da avenida Augusto Franco

Os dois pontos de coleta dessa ciclovias (Figura 45) são similares e pertencentes a mesma avenida. Tanto o ponto P1 quanto o ponto P2 estão centralizados em relação a via de mão dupla e estão localizados em local de uso misto, com residências e predominância de comércio. Para as variáveis ambientais coletados foram registrados para o ponto P1: 4,5 m/s para a velocidade do vento, 75% para a umidade e 32,5°C para a temperatura ambiente.

Figura 45-Posicionamento dos pontos P1 e P2 na Av. Augusto Franco



Fonte: Elaborado pelo Autor

Demais dados complementares dessa ciclovía são abordados na Tabela 12 a seguir:

Tabela 12-Dados coletados da Av. Augusto Franco

Ciclovía	Ponto	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10}-L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d' [m]	MT	VL	VP	Q
Av Augusto Franco	P1	72,3	75,3	63,4	11,9	81,0	86,3	5,3	173	304	19	2980
	P2	74,3	76,9	66,9	10,0	77,3	85,9	5,3	145	291	21	2740

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovía, adotada para as análises acústicas; **MT** – quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

Fonte: Elaborado pelo Autor

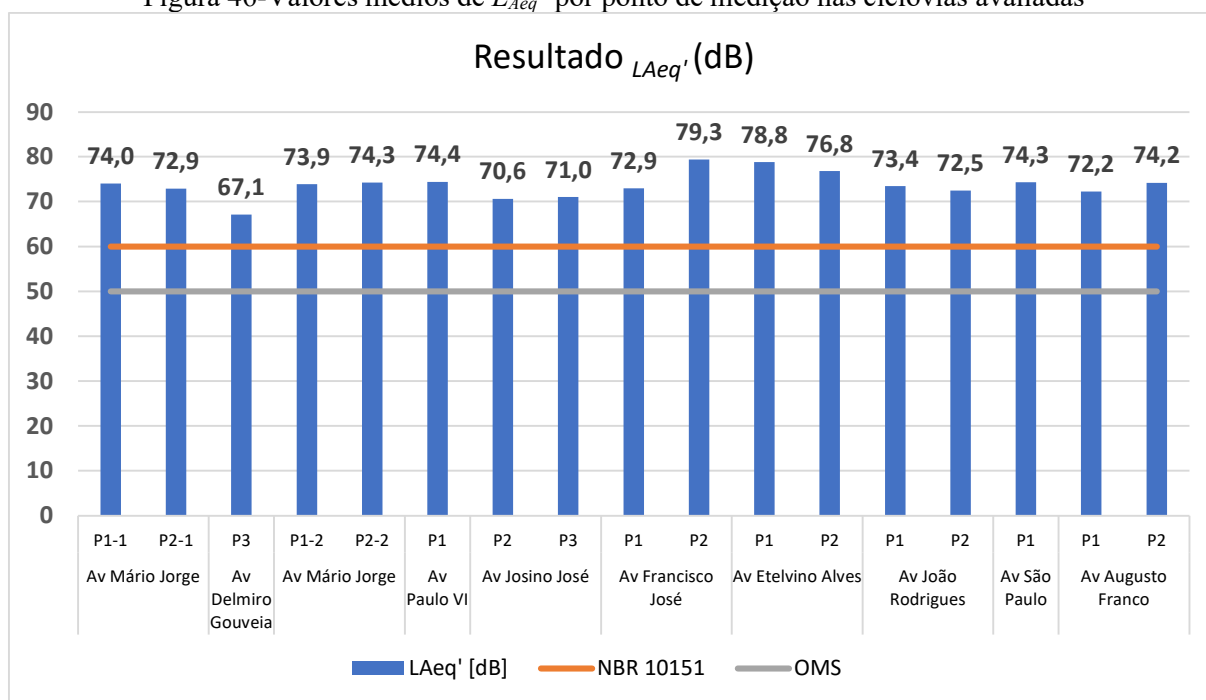
Os valores elevados $L_{Aeq'}$ dos dois pontos correspondem a um local ruidoso, já para o valor de TNI corresponde a um local com grau de incômodo médio em relação ao ruído.

4.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO IMPACTO SONORO DAS CICLOVIAS ANALISADAS

Todos os valores coletados na análise de campo, estão dispostos no APÊNDICE A – DADOS DE TODOS OS PONTOS DAS CICLOVIAS ANALISADAS, sendo representado aqui a média logarítmica dos dados acústicos.

Os dados coletados na análise pré-teste serviram de norteador para prosseguimento do estudo proposto. Através dessa análise inicial foi descartada a possibilidade de medições em horários diversos, devido à pouca variação das variáveis de interesse envolvidas e direcionado aos horários em que houvesse o maior uso da ciclovía em conjunto com o fluxo intenso de veículos automotores.

Na Figura 46, ao analisar o valor do $L_{Aeq'}$ em todos os pontos coletados quando comparado aos valores normativos presentes na NBR 10151(ABNT, 2019) para o tipo de área habitada (Área mista com predominância de atividades comerciais e/ou administrativas), juntamente com os valores recomendados pela OMS, é possível observar que os valores obtidos variaram de 67,1 dB com picos 79,3 dB. Vale observar que todos os valores ficaram acima do recomendado dos valores normativos recomendados, 60 dB para a NBR 10151 e 50 dB para a OMS.

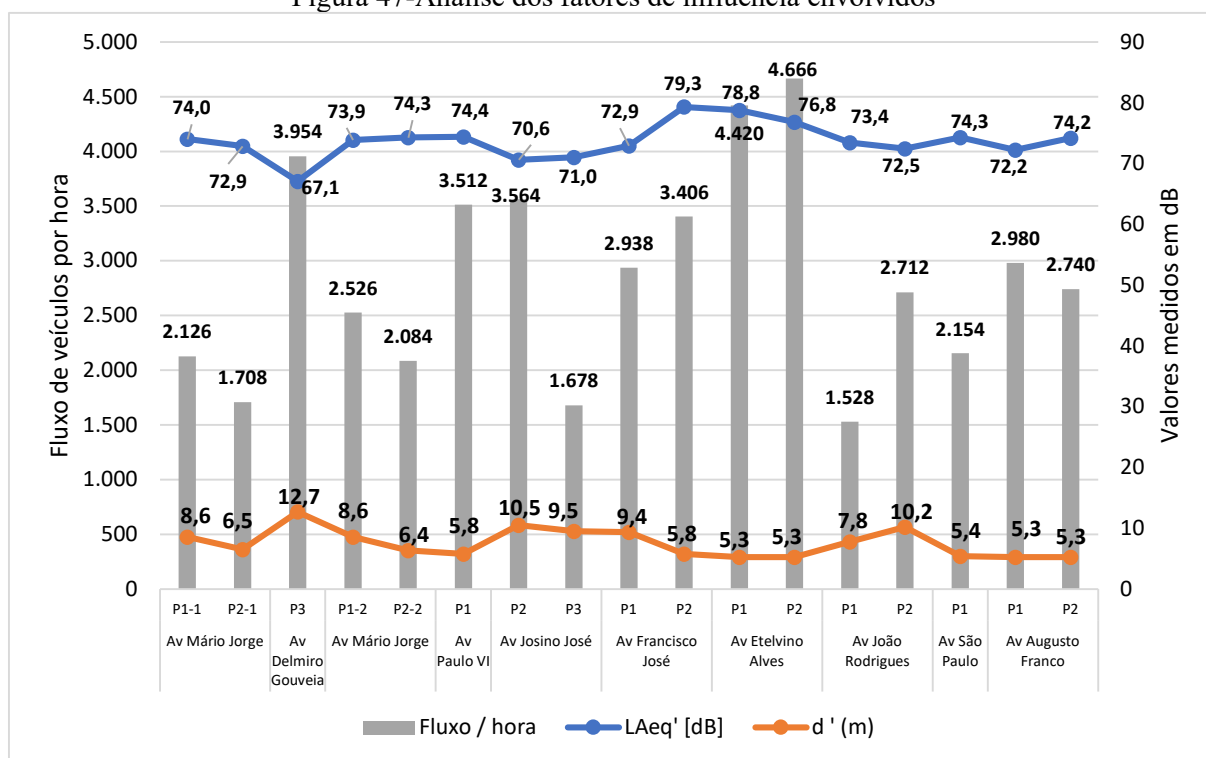
Figura 46-Valores médios de L_{Aeq} ' por ponto de medição nas ciclovias avaliadas

Fonte: Elaborado pelo Autor

Ao analisar o gráfico representado na Figura 47, que apresenta o fluxo de veículos por hora em diversos pontos de medição, é possível observar uma redução nos valores de L_{Aeq} ' em locais mais distantes das vias de tráfego. Além disso, é perceptível que, mesmo em situações em que o fluxo de veículos aumenta, há uma leve diminuição nos valores de L_{Aeq} '. Destaca-se que os pontos de medição mais distantes do eixo da via apresentam os menores valores de L_{Aeq} ', como evidenciado nos pontos P3 da Delmiro Gouveia, P2 da Josino José, P1 da Francisco José e P2 da João Rodrigues. Nessas localidades, observa-se um fluxo intenso de veículos, no entanto, o ruído é atenuado devido à distância em relação ao ponto de medição.

Por sua vez, o oposto também acontece, os pontos mais próximos da via resultaram em valores mais elevados de poluição sonora, sobressaindo os pontos P1 e P2 da Avenida Etelvino Alves e P2 da Francisco José.

Figura 47-Análise dos fatores de influência envolvidos



Fonte: Elaborado pelo Autor

Através da aplicação da matriz de correlação de Pearson, junto aos descritores acústicos e os valores coletados das distâncias medidas em relação ao ponto de medição e o eixo da via, é possível comprovar que o distanciamento em relação a fonte geradora de ruído tem forte correlação negativa, influenciado diretamente em todos os descritores acústicos medidos conforme observado na Tabela 13.

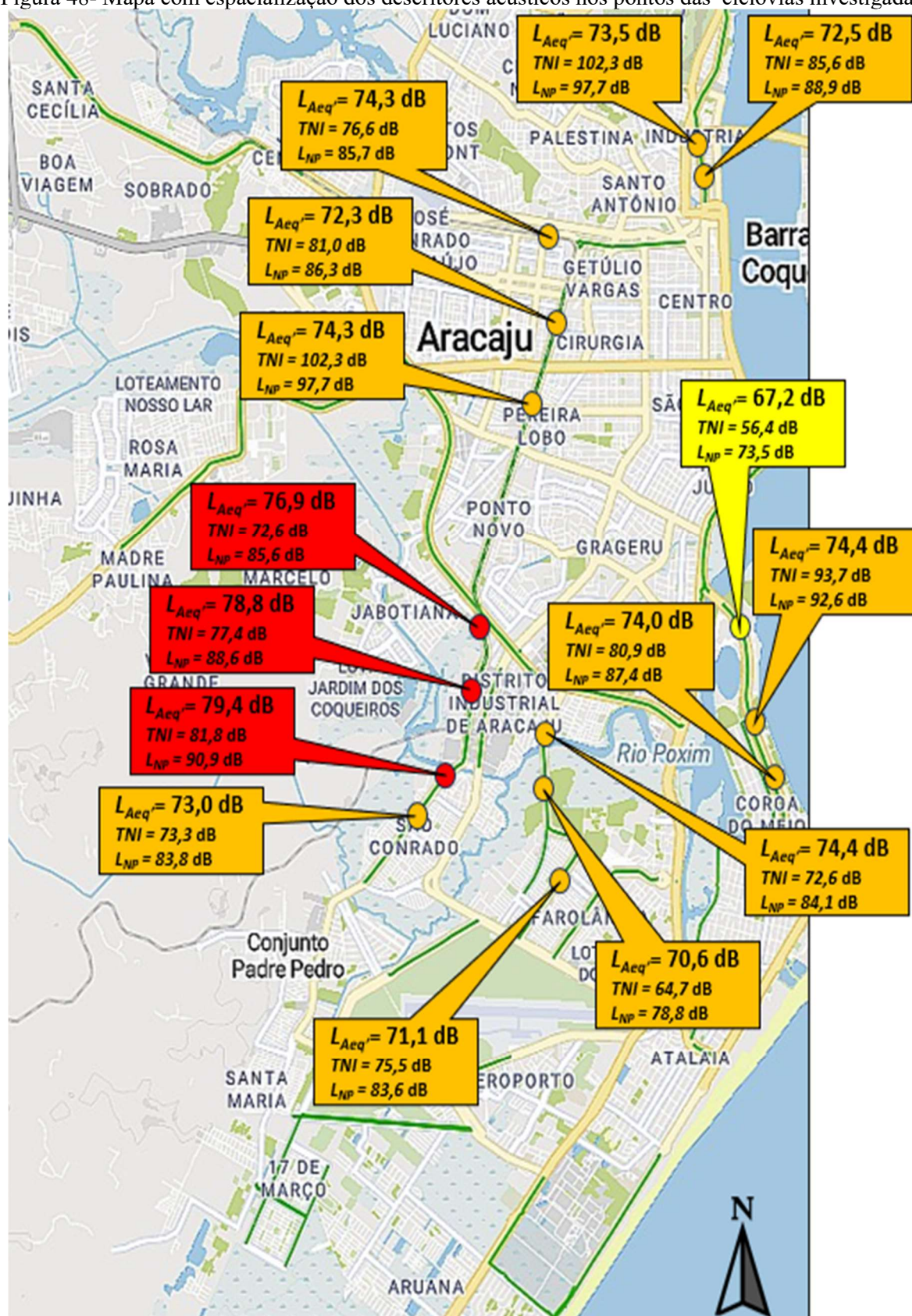
Tabela 13-Matriz de correlação para todos os pontos medidos entre os descritores acústicos e a distância medida.

	L_{Aeq}'	L_{10}	L_{50}	L_{90}	TNI	L_{NP}	$d' (m)$
L_{Aeq}'	—						
L_{10}	0.968	—					
L_{50}	0.926	0.848	—				
L_{90}	0.707	0.585	0.855	—			
TNI	0.341	0.507	0.048	-0.402	—		
L_{NP}	0.569	0.697	0.294	-0.167	0.965	—	
$d' (m)$	-0.740	-0.757	-0.615	-0.458	-0.368	-0.506	—

Fonte: Elaborado pelo Autor

Através dos dados coletados nas diferentes ciclovias analisadas, foi possível realizar a criação de um mapa com espacialização dos valores obtidos por ponto (Figura 48) destacando, os valores de L_{Aeq}' , TNI e L_{NP} encontrados nos diferentes pontos.

Figura 48- Mapa com espacialização dos descritores acústicos nos pontos das ciclovias investigadas.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Com a espacialização dos dados levantados é possível ter uma visão ampla da condição do impacto sonoro que o ciclista que circula por diversas ciclovias da capital Aracaju está exposto.

Em nenhuma situação avaliada, os valores normativos de referência estão sendo respeitados, gerando ambientes em que a depender da característica local geram ambiente mais ruidosos e mais incômodos do que outros. No mapa com espacialização dos descritores acústicos dos pontos das ciclovias investigadas (Figura 48), as cores destacadas em vermelho representam os locais mais críticos em relação aos valores de L_{Aeq} , TNI e LNP . A coloração alaranjada representa pontos intermediários onde apesar de ainda prevalecer com valores de poluição sonora acima do recomendado, entre os resultados obtidos do levantamento se mostraram intermediários, já o ponto em amarelo foi ponto de menor impacto sonoro encontrado no estudo.

Por fim, vale ressaltar que a elaboração e aprimoramento desses tipos de mapas, a exemplo dos mapas acústicos, com indicação de pontos de ciclovias mais ou menos impactadas pelo ruído de tráfego pode ser um instrumento importante de gestão pública. Com as informações desses mapas, o poder público pode identificar os locais com maior impacto da poluição sonora e buscar soluções para sua mitigação, além de oferecer aos usuários de bicicleta a oportunidade de escolha das melhores rotas de ciclovias quanto ao aspecto acústico.

5. CONCLUSÃO E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Após as análises foi evidenciado que as ciclovias examinadas sofrem com um tráfego intenso de veículos automotores, resultando em níveis de ruído elevados que ultrapassam os limites permitidos pela legislação vigente, conforme estabelecido pela NBR 10151 (ABNT, 2019) e, conseqüentemente, não atendem aos padrões mínimos recomendados pela Organização Mundial da Saúde (OMS). Embora as ciclovias atendam aos critérios mínimos de implantação em termos de dimensões e características físicas, é notável que não são consideradas medidas de proteção adequadas para mitigar o ruído do tráfego, uma vez que tal preocupação não é contemplada nos manuais e cadernos técnicos que orientam a implantação de ciclovias.

Apesar da exposição do impacto sonoro acima do recomendado em todos os pontos, a distância em relação à fonte emissora do ruído torna-se uma das medidas mitigadoras do cenário, contribuindo para a diminuição do L_{Aeq} , além dos descritores acústicos indicadores de incômodo TNI e L_{NP} . Por conseguinte, a situação inversa também ocorre, ou seja, cenários em que a ciclovia fica próxima ao fluxo de veículos contribui para aumento dos valores de nível de pressão sonora de forma significativa, potencializando não somente valores do L_{Aeq} , como o desconforto obtido pelos descritores acústicos.

Foi visto que a maior contribuição para os valores obtidos de L_{Aeq} foi o L_{90} , com valores maiores que os valores estabelecidos por norma, revelando que o principal ruído observado, ou seja, ruído do tráfego veicular, se mostra intenso e constante, informação que é corroborada pela literatura técnica.

Embora o fluxo de veículos pesados tenha aparecido como o principal contribuinte dos descritores acústicos analisados na maioria dos pontos coletados, em outros pontos, o fluxo de motos e veículos leves também aparecem influenciando de forma direta, tal fato evidencia que não é possível generalizar a forma de contribuição do ruído oriundo do tráfego veicular, exigindo uma análise a cada caso apresentado para melhor entendimento.

O ponto P3 localizado na Avenida Delmiro Gouveia, apresenta o menor nível de ruído quando comparado aos demais pontos, mesmo possuindo um volume de tráfego bem maior. Através dos dados coletados e em observações “*in loco*” ficou constatado que o posicionamento do canteiro deixando, a ciclovia centralizada separada da via de tráfego por canteiros verdes, afasta o usuário do ruído de tráfego veicular contribuindo para os menores níveis de impacto sonoros nessas condições.

Embora a literatura apresente o fluxo de veículos como principal fonte de poluição sonora urbana, com a massa de dados coletada não foi possível caracterizar, para todos os pontos, qual foi o tipo de característica do veículo mais contribuinte (moto, veículos leves e pesados), sendo sugerido uma análise mais aprofundada com coleta de maior quantidade de amostragens de dado para este fim.

Devido à complexidade do ambiente urbano e do ruído que é gerado por ele, sugestões complementares de estudo como o uso do dosímetro de ruído junto ao ciclista ou um aumento da massa de dados tomando como base o procedimento adotado neste trabalho, poderiam ser utilizados a fim de compreender melhor a exposição sonora do ruído do tráfego veicular sobre o usuário de bicicleta ao longo de toda a extensão de uma dada ciclovia.

A prevenção sempre indica que a melhor forma de amenizar os impactos ambientais é na fase de projeto, portanto as ciclovias posicionadas distantes principalmente às vias que possuem maior tráfego veicular, apresentam-se a princípio como a alternativa ideal para a proteção dos usuários de bicicletas com relação ruídos provenientes do tráfego, sendo necessária à sua previsão na fase de concepção de projeto. Uma alternativa atenuadora é a desvinculação da ciclovia junto às margens das vias de veículos com adoção de faixas verdes. Essas faixas contribuem para a amenização do impacto oriundo dessa poluição sonora. Uma vez a ciclovia já implantada essa medida não é possível, ou no mínimo torna sua implantação mais onerosa exigindo novos esforços de planejamento e conseqüentemente custos para a concretização.

Através de um estudo minucioso, medidas mitigadoras como a proibição de determinada categoria de veículo em uma via com concentração de ciclistas podem colaborar para a diminuição do ruído. Ou ainda a proibição de alguns tipos de veículos mais ruidosos nos horários de uso mais intenso pelos ciclistas. Essas medidas ainda podem ser complementadas com a adoção de *traffic calming* nos locais de concentração de usuários, a exemplo de adoção de radares e lombadas, a fim de diminuir a velocidade dos veículos. Ainda é possível, conforme visto na revisão da literatura apresentada nesta pesquisa, a adoção de barreiras acústicas em pontos cuidadosamente identificados e passíveis de sua implantação.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, I. S. G. A mobilidade nos grandes centros urbanos: análise custo-benefício das ciclovias em Lisboa. *[s. l.]*, 2022. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=f38b8bd5-cdf4-307b-95fc-2fc407121cab>. Acesso em: 21 set. 2023.

ALVES, E. *et al.* Alternativa de mobilidade urbana em Palmas-TO. **URBANA: Revista Eletrônica do Centro Interdisciplinar de Estudos sobre a Cidade**, Campinas, SP, v. 12, p. e020005, 2021. DOI: 10.20396/urbana.v12i0.8658550. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/urbana/article/view/8658550>. Acesso em: 23 out. 2023.

ALVES, S. *et al.* Urban sound planning - The SONORUS project. **Proceedings of the INTER-NOISE 2016 - 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering: Towards a Quieter Future**, *[s. l.]*, p. 2319–2328, 2016. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=68cdacaf-7115-392d-b574-68a2d05ca780>. Acesso em: 16 abr. 2024.

ANDRADE, J. W. C. de. **Desenvolvimento de um índice para a avaliação da ciclabilidade na cidade de Aracaju**. *[s. l.]*: Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2018. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsndl&AN=edsndl.IBICT.oai.ri.ufs.br.riufs.8814&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 20 novembro 2023.

ARACAJU. Lei Ordinária nº 1789, de 1992. Código de Proteção Ambiental do Município de Aracaju e dá providências correlatas. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/se/a/aracaju/lei-ordinaria/1992/179/1789/lei-ordinaria-n-1789-1992-codigo-de-protecao-ambiental-do-municipio-de-aracaju-e-da-providencias-correlatas>. Acesso em: 09 abr. 2024.

ARACAJU. Lei Ordinária nº 2410, de 1996. Dispõe sobre medidas de combate à poluição sonora e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/se/a/aracaju/lei-ordinaria/1996/241/2410/lei-ordinaria-n-2410-1996-dispoe-sobre-medidas-de-combate-a-poluicao-sonora-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 24 abr. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10151:2019 Versão Corrigida:2020. **Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas - Aplicação de uso geral**. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 16425:2020. **Acústica - Medição e avaliação de níveis de pressão provenientes de sistemas de transporte**. Rio de Janeiro, 2020.

BALZAN, Katiane *et al.* Ruído De Tráfego Veicular E Verticalização Urbana: Um Estudo Na Cidade De Chapecó - Sc. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, *[s. l.]*, 2020. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=14edcd59-ffc3-3ec8-9008-761fb2613dbd>. Acesso em: 18 abr. 2023.

BISTAFA, Sylvio R. Acústica aplicada ao controle do ruído. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2018.

BOARETO, Renato. Os desafios de uma Política de Mobilidade Urbana transformadora das cidades. **E-metropolis, Rio de Janeiro**, n. 44, p. 8-24, 2021.

BOSCO, D. L.; LEONARDI, G.; SCOPELLITI, F.. Metodologie per lo studio dell'inquinamento acustico da traffico veicolare. 2006.

BRASIL. Lei nº 12.587, de 3 de janeiro de 2012. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 04 jan. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112587.htm. Acesso em: 18 de abril de 2023.

BRASIL. Município de Aracaju. Lei Complementar nº 42, de 04 de outubro de 2000. Leis Municipais. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/se/a/aracaju/lei-complementar/2014/14/132/lei-complementar-n-132-2014-dispoe-normas-complementares-sobre-edificacoes-no-ambito-do-municipio-de-aracaju-e-da-providencias-correlatas>. Acesso em: 02 abril 2024.

BRASIL. Resolução CONTRAN nº 798, de 02 de setembro de 2020. Brasília: Ministério da Infraestrutura, 2020. 15 p. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/pt-br/assuntos/transito/conteudo-contran/resolucoes/resolucao798-2020.pdf>. Acesso em: 18 novem 2023.

BRÜEL & KJÆR. **Environmental noise**. Denmark: Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S, 2000. 65p.

CICHELLA, Cardoso; RODRIGUES, Vieira; JUNIOR, Rosa. Mobilidade Urbana Sustentável: A Importância Da Bicicleta Como Meio De Transporte Alternativo. **Anais Seminário de Ciências Sociais Aplicadas; v. 7, n. 7 (2021): Seminário de Ciências Sociais Aplicadas; 2236-1944**, [s. l.], 2022. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.2018E887&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 23 nov. 2023.

CICLOMAPA. 2024. Disponível em: <<https://ciclomapa.org.br/?lat=-10.9128401&lng=-37.1608583&z=11.00>>. Acesso em: 20 de setembro de 2023.

DAVEL, Darliene *et al.* Avaliação Acústica De Espaços Públicos Destinados Ao Lazer E À Prática Esportiva: Análise Da Avenida Marechal Mascarenhas De Moraes Em Vitória/Es. **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, [s. l.], 2020. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsair&AN=edsair.doi.....27ce62d0feb114c95dd0e1467cd10f2a&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 23 nov. 2023.

DISTEFANO, N.; LEONARDI, S. Evaluation of the benefits of traffic calming on vehicle speed reduction. **Civil Engineering and Architecture**, [s. l.], v. 7, n. 4, p. 200–214, 2019. DOI 10.13189/cea.2019.070403. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=abce1b5a-cf52-3572-b6f2-6efd7f26cd66>. Acesso em: 24 dez. 2023.

FERNANDES, W.; TORRES, J. C. Ruído urbano na área central de Luanda. **Revista Angolana de Sociologia**, [s. l.], 2014. DOI 10.4000/ras.1126. Disponível em:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsrev&AN=edsrev.D3483F45&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 31 mai. 2022.

GELB, J.; APPARICIO, P. Cyclists' exposure to air and noise pollution, comparative approach in seven cities. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, [s. l.], v. 14, 2022. DOI 10.1016/j.trip.2022.100619. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=39e458ad-6ced-3059-af83-a02896707f03>. Acesso em: 1 mai. 2023.

GELB, J.; APPARICIO, P. Cyclists' Exposure to Road Traffic Noise: A Comparison of Three North American and European Cities. **Acoustics**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 73–86, 2020. DOI 10.3390/acoustics2010006. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=80722d95-580c-3a45-ac6f-658dab78579d>. Acesso em: 10 jan. 2023.

GELB, J.; APPARICIO, P. Noise exposure of cyclists in Ho Chi Minh City: A spatio-temporal analysis using non-linear models. **Applied Acoustics**, [s. l.], v. 148, p. 332–343, 2019. DOI 10.1016/j.apacoust.2018.12.031. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=f8acc4a7-76c4-30ff-be41-0ff1b6d4b40c>. Acesso em: 5 jun. 2023.

Google Earth. Disponível em: https://earth.google.com/web/search/Aracaju,+SE/@-11.00600782,-37.10139338,5.14436145a,73024.39108154d,35y,0h,0t,0r/data=CnUaSxJFCiQweDcxYWIwNDAXNWJIMjdjZDoweDgwNDQzNGZkOTJlYzNiMzYZdNjYgGPaJcAhra2O0luJQsAqC0FyYWNhanUsIFNFGAIgASImCiQJx_kEop2eSUARHuS2xdiYSUAZv4WvMDgnEkAhThRpK6SIEUA6AwoBMA. Acesso em: 25 abril 2024.

GOOGLE MAPS. ****Mapa ciclovitários da cidade de Aracaju/SE.**** Sergipe, 07/04/2023. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-11.0056264,-37.2679727,47592m/data=!3m1!1e3!5m1!1e3?entry=tту>>. Acesso em: 07/04/2023.

GRIFFITHS, I. D.; LANGDON, F. J. Subjective Response to Road Traffic Noise. [s. l.], 1968. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=d00cd9a9-e13d-36e2-9fce-ef43d5f76997>. Acesso em: 3 mai. 2023.

GUEDES, I. C. M. Modelo probabilístico para investigação da influência de pontos de ônibus no ruído do tráfego veicular urbano. **Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=1e55415f-3d2a-3ddf-8ef5-748493fd9131>. Acesso em: 25 abr. 2023.

GUEDES, I.C.M. *et al.* Influência do fluxo e composição veicular no ruído urbano a partir de um modelo de predição baseado em sinais sonoros reais: um estudo em Campinas (SP). *XXVIII Encontro da SOBRAC*. January 2018. Accessed September 20, 2023. <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsair&AN=edsair.doi.....64e2cd4d625aff18c8b5e2a1ac9f6bff&lang=pt-br&site=eds-live>.

IBGE. Aracaju. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/se/aracaju.html>>. Acesso em: 03 fev. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <<https://bdmep.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 30 mai. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1996-1:2016: Acoustics: Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures**. Geneva: ISO, 2016.

LADEIA, G. L. POLUIÇÃO SONORA: uma ameaça à saúde? **Revista Saúde e Meio Ambiente; v. 9 n. 3 (2019): Edição especial**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=678df8d8-8aad-3a89-8147-c4f73341fde5>. Acesso em: 10 abr. 2024.

LIMA, Erica Cristini *et al.* A MOBILIDADE URBANA PARA UMA CIDADE MAIS HUMANA. **Revista TechnoEng-ISSN 2178-3586**, v. 1, n. 1, 2020.

LOPES, Dario Rais; MARTORELLI, Martha; VIEIRA, Aguiar Gonzaga. **Mobilidade Urbana: Conceito e Planejamento no Ambiente Brasileiro**. Curitiba: Editora Appris, 2020. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=8c12dc44-59c5-3a04-b5fa-0dd00aefcf108>. Acesso em: 11 mai. 2023.

LU, X. *et al.* Influence of urban road characteristics on traffic noise. **Transportation Research Part D**, [s. l.], v. 75, p. 136–155, 2019. DOI 10.1016/j.trd.2019.08.026. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=e059fde3-7cee-3ef5-9cd3-9909515bd100>. Acesso em: 5 fev. 2023.

LUFT, R. M. Planejamento E Financiamento Da Mobilidade Urbana Na Regiao Metropolitana Do Rio De Janeiro/Urban Mobility Planning and Financing in the Metropolitan Area of Rio De Janeiro. **Geo Uerj**, [s. l.], n. 36, p. 1v, 2020. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=3d2dbaa2-91a7-3bd7-8ee3-5547bd968665>. Acesso em: 19 abr. 2023.

Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Caderno Técnico para Projetos de Mobilidade Urbana – Transporte Ativo. 2017. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSEMOB/Biblioteca/Criterios_transporte.pdf. Acesso em: 19 de setembro de 2023.

MIRANDA, A. C. M. ; SAAVEDRA, N. C. Barreiras, Desafios, Possibilidades Do Modal Bicicleta No Transporte Urbano. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218**, [s. l.], v. 3, p. e3122382, 2022. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsair&AN=edsair.doi.....5ec2662baf0735ad4f1650ba1441de17&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 19 jun. 2023.

Mobikers. Pedalando nem sempre pela história: como surgiu a bicicleta. Mobikers. Disponível em: <https://www.mobikers.com.br/comportamento/cultura/pedalando-nem-sempre-pela-historia-como-surgiu-a-bicicleta/>. Acesso em: 18 de novembro de 2023.

MURGEL, Eduardo. Fundamentos de acústica ambiental – São Paulo: Editora SENAC São Paulo, 2007.

OLEKSZECHEN, Nikolas ; BATTISTON, Marcia; KUHNEN, Ariane. Uso da bicicleta como meio de transporte nos estudos pessoa-ambiente. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, [s. l.],

v. 36, p. 355–369, 2016. DOI 10.5380/dma.v36i0.43654. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.9e397bf5100142f0a2a51d2ee4ffc98e&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 10 set. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>. Acesso em: 16 de outubro de 2023.

PATRÍCIO, Jorge Viçoso. **Acústica nos edifícios**. 7. ed. rev. e aum. Lisboa: Engebook, 2018.

PEREIRA, G. Estimativa de frota de bicicletas no Brasil. **Journal of Sustainable Urban Mobility; Vol. 1 No. 1-2 (2021): Continuous Flow ; Journal of Sustainable Urban Mobility**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=72e87d21-8253-3aaf-a748-002119dd55c5>. Acesso em: 12 jul. 2023.

PMDU, Plano Diretor de Mobilidade Urbana. (2015). PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO URBANO DE ARACAJU – DIAGNÓSTICO MUNICIPAL. Recuperado de <https://www.aracaju.se.gov.br/userfiles/plano-diretor-vpreliminiar-jul2015/CAPITULO-IX-MOBILIDADE-URBANA.pdf>. Acesso em 19 de novembro de 2023.

Prefeitura Municipal de Aracaju. Plano Diretor de Aracaju: Capítulo IX - Mobilidade Urbana. Disponível em: <https://www.aracaju.se.gov.br/userfiles/plano-diretor-vpreliminiar-jul2015/CAPITULO-IX-MOBILIDADE-URBANA.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2023.

RAMOS, T. da C. Avaliação da exposição de ciclistas ao ruído em uma cidade média brasileira. [s. l.], 2017. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsndl&AN=edsndl.23052017.082931&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 6 nov. 2022.

RODRÍGUEZ *et al*, Manuel et al. Cómo promover el buen uso de la bicicleta: Exposición del ciclista en ámbito urbano: Diagnóstico y recomendaciones. [S.l.]: Banco Interamericano de Desarrollo, 2017. 40 p. Disponível em: <http://www.iadb.org/es/proyectos/project-information-page,1303.html?id=RG-T2219>. Acesso em: 24 abr. 2023.

RUBIM, B.; LEITÃO, S. O plano de mobilidade urbana e o futuro das cidades. **Estudos Avançados**, [s. l.], v. 27, n. 79, p. 55–66, 2013. DOI 10.1590/S0103-40142013000300005. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.0c2be548ff8b12171d4b25b9b4&lang=pt-br&site=eds-live>. Acesso em: 23 nov. 2023.

SAKAI, O. A. *et al*. NÍVEL DE PRESSÃO SONORA: CENÁRIO EM MEIO URBANO. **XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica-SOBRAC**, 2018.

SAKAI, O. A. *et al*. Ruído no meio urbano: perspectivas e diagnóstico / Urban noise: prospects and diagnosis. **Brazilian Journal of Development**; v. 5, n. 10 (2019, [s. l.], 2019. DOI 10.34117/bjdv5n10-243. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=5307ff76-94f0-36ae-8b1d-6ecf5d5ece36>. Acesso em: 1 jan. 2024.

SCHMAL, D. **Mobilidade urbana sustentável: uma análise sobre o plano de mobilidade urbana da cidade de São Paulo**. 2018. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsndl&AN=edsndl.IBICT.oai.bibli>

otecadigital.fgv.br.10438.25649&lang=pt-br&site=eds-live. Dissertação de Mestrado. Acesso em: 19 nov. 2023.

SENATRAN. Frota de veículos 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2022>. Acesso em: 27 de abril de 2023.

SENNA, Luiz Afonso dos Santos. **Economia e Planejamento dos Transportes**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

SILVA, V. L. A. **UM OLHAR SOBRE OS DESLOCAMENTOS URBANOS EM PIRATININGA (SP): DESAFIOS PARA A MOBILIDADE URBANA SUSTENTÁVEL**. Orientador: Renata Cardoso Magagnin. 2021. 97 f. Mestrado (Arquitetura e Urbanismo) - Mestrando, Universidade Estadual Paulista, 2021. DOI <http://hdl.handle.net/11449/215026>. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/aa4565e7-7741-4d70-b637-e4a427f7cbbc/content>. Acesso em: 2 ago. 2023.

SOARES, P.F.; LIMA, B.T.. Caracterização Do Ruído Ambiental Urbano Em Maringá, Paraná. **ANAI DO VI SIMPOSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, [s. l.], 2019. Disponível em: <https://research.ebsco.com/linkprocessor/plink?id=6380fe9e-98ce-381e-86a0-cb3cd1ab9cb7>. Acesso em: 23 nov. 2023.

VASCONCELLOS, Eduardo A. Mobilidade urbana em Curitiba—os limites do sonho. **Revista dos Transportes Públicos**, p. 7-24, 2019.

WILLBERG, Elias et al. Cyclists' exposure to air pollution, noise, and greenery: a population-level spatial analysis approach. **International Journal of Health Geographics**, v. 22, n. 1, p. 5, 2023.

APÊNDICE A – DADOS COLETADOS DE TODAS AS CICLOVIAS ANALISADAS

Tabela 14-Dados coletados de todas as ciclovias-A

	Ponto	Amostra	Horário	<i>L_{Aeq}</i> [dB]	<i>L_{Aeq'}</i> [dB]	<i>L₁₀</i> [dB]	<i>L₅₀</i> [dB]	<i>L₉₀</i> [dB]	<i>L₁₀ – L₉₀</i> [dB]	<i>TNI</i> [dB]	<i>L_{NP}</i> [dB]	<i>d</i> [m]	<i>d ' </i> [m]	M	VL	VP	Ciclistas	Q
Av Mário Jorge de Menezes Vieira	P1-1	1	09:13	74,6	74,5	77,4	71,2	65,0	12,4	84,6	89,6	6,1	7,7	58	292	11	3	2166
		2	09:23	73,7	73,6	77,2	71,6	66,7	10,5	78,7	86,0	6,1	7,7	58	286	10	5	2124
		3	09:36	74,2	74,1	77,8	72,0	67,3	10,5	79,3	86,5	6,1	7,7	59	279	10	8	2088
	P2-1	1	10:17	72,9	72,8	77,0	68,9	61,5	15,5	93,5	92,4	4,8	6,4	58	239	11	6	1848
		2	10:30	73,5	73,4	77,5	68,1	62,1	15,4	93,7	92,9	4,8	6,4	44	232	9	6	1710
		3	10:41	72,6	72,5	76,7	68,2	61,0	15,7	93,8	92,4	4,8	6,4	42	203	16	8	1566
Av Delmiro Gouveia	P3	1	11:59	68,0	68,1	69,6	66,7	62,5	7,1	60,9	75,9	14,4	12,7	88	513	21	5	3732
		2	12:11	65,5	65,6	67,5	64,9	62,3	5,2	53,1	71,2	14,4	12,7	107	539	33	5	4074
		3	12:27	67,6	67,7	69,1	66,7	63,7	5,4	55,3	73,5	14,4	12,7	119	539	18	13	4056
Av Mário Jorge de Menezes Vieira	P1-2	1	12:55	74,5	74,4	77,8	72,3	66,6	11,2	81,4	87,8	6,1	7,7	54	341	11	1	2436
		2	13:07	74,8	74,7	78,3	73,0	66,7	11,6	83,1	88,6	6,1	7,7	68	366	9	4	2658
		3	13:18	72,8	72,7	75,7	71,5	67,1	8,6	71,5	82,6	6,1	7,7	67	339	8	4	2484
	P2-2	1	13:33	75,6	75,5	79,1	71,8	63,6	15,5	95,6	95,1	4,8	6,4	61	298	13	6	2232
		2	13:44	73,8	73,7	77,8	69,6	63,8	14,0	89,8	91,1	4,8	6,4	42	258	10	8	1860
		3	13:55	73,8	73,7	77,9	69,8	64,6	13,3	87,8	90,1	4,8	6,4	57	293	10	9	2160
Av Paulo VI	P1	1	07:18	74,5	74,5	77,3	73,3	68,8	8,5	72,8	84,2	5,3	5,3	146	398	10	27	3324
		2	07:32	74,6	74,6	77,4	73,5	68,8	8,6	73,2	84,4	5,3	5,3	179	390	10	33	3474
		3	07:43	74,3	74,3	77,0	73,4	68,7	8,3	71,9	83,8	5,3	5,3	175	441	7	39	3738

Observação: *d ' [m]* – distância de referência para o centro da ciclovia, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 15-Dados coletados de todas as ciclovias-B

	Ponto	Amostra	Horário	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{50} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10} - L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d [m]	d' [m]	M	VL	VP	Ciclistas	Q
Av Josino José de Almeida	P1	1	07:19	70,8	70,8	73,1	70,3	66,2	6,9	63,8	78,5	9,0	9,0	169	449	9	32	3762
		2	07:30	70,3	70,3	72,8	69,9	65,4	7,4	65,0	78,6	9,0	9,0	156	375	10	40	3246
		3	07:41	70,9	70,9	73,2	70,6	65,8	7,4	65,4	79,2	9,0	9,0	200	407	7	38	3684
	P2	1	07:25	70,6	70,6	73,3	69,0	64,0	9,3	71,2	81,3	9,5	9,5	75	200	11	16	1716
		2	07:37	69,9	69,9	73,1	68,6	61,9	11,2	76,7	83,2	9,5	9,5	78	201	7	12	1716
		3	07:47	71,7	71,7	74,1	68,8	62,6	11,5	78,6	85,4	9,5	9,5	81	172	14	16	1602
Av Francisco José da Fonseca	P1	1	07:25	72,7	72,6	75,5	71,2	66,1	9,4	73,7	83,6	8,5	9,6	192	277	28	88	2982
		2	07:40	72,2	72,1	75,3	70,9	66,4	8,9	72,0	82,4	8,5	9,6	220	243	28	61	2946
		3	07:52	74,0	73,9	75,1	70,9	65,4	9,7	74,2	85,3	8,5	9,6	187	271	23	39	2886
	P2	1	07:32	79,6	79,5	82,3	77,9	73,2	9,1	79,6	90,1	8,5	9,6	230	357	30	81	3702
		2	07:45	80,0	79,9	82,6	77,7	72,4	10,2	83,2	91,9	8,5	9,6	219	319	27	54	3390
		3	07:58	78,6	78,5	81,9	77,0	71,7	10,2	82,5	90,5	8,5	9,6	185	316	20	38	3126
Av Etelvino Alves	P1	1	07:44	78,6	78,4	81,1	77,8	73,2	7,9	74,8	87,5	5,0	7,5	284	508	27	73	4914
		2	07:55	78,8	78,6	81,5	77,3	72,6	8,9	78,2	89,0	5,0	7,5	312	450	36	42	4788
		3	08:06	78,5	78,3	80,9	77,0	71,5	9,4	79,1	89,4	5,0	7,5	187	378	28	30	3558
	P2	1	07:23	77,5	77,2	78,8	75,3	70,4	8,4	74,0	87,1	5,0	8,9	264	493	31	79	4728
		2	07:35	76,2	75,9	78,7	75,5	70,6	8,1	73,0	85,4	5,0	8,9	259	475	36	72	4620
		3	07:46	76,1	75,8	78,7	75,4	71,3	7,4	70,9	84,4	5,0	8,9	266	476	33	62	4650

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovia, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)

Tabela 16-Dados coletados de todas as ciclovias-C

	Ponto	Amostra	Horário	L_{Aeq} [dB]	$L_{Aeq'}$ [dB]	L_{10} [dB]	L_{50} [dB]	L_{90} [dB]	$L_{10} - L_{90}$ [dB]	TNI [dB]	L_{NP} [dB]	d [m]	d' [m]	M	VL	VP	Ciclistas	Q
Av João Rodrigues	P1	1	07:58	73,8	73,7	77,1	71,0	58,2	18,9	103,8	98,7	6,5	5,9	140	126	5	29	1626
		2	08:09	73,0	73,0	76,8	69,8	59,0	17,8	100,2	96,1	6,5	5,9	108	127	9	21	1464
		3	08:27	73,9	73,9	77,1	69,5	58,5	18,6	102,9	98,3	6,5	5,9	101	140	8	15	1494
	P2	1	08:31	72,0	72,1	75,2	71,0	62,9	12,3	82,1	86,8	9,5	8,1	150	293	20	17	2778
		2	08:42	73,0	73,1	75,6	71,9	64,0	11,6	80,4	86,8	9,5	8,1	194	290	15	9	2994
		3	08:54	72,7	72,8	76,2	70,9	60,2	16,0	94,2	93,0	9,5	8,1	134	245	15	13	2364
Av São Paulo	P1	1	07:31	74,3	74,2	77,1	73,2	68,1	9,0	74,1	84,7	6,6	7,6	162	200	5	56	2202
		2	07:43	74,3	74,2	77,0	73,0	66,1	10,9	79,7	87,2	6,6	7,6	161	190	5	45	2136
		3	07:54	74,0	73,9	76,9	72,7	67,2	9,7	76,0	85,3	6,6	7,6	151	199	4	24	2124
Av Augusto Franco	P1	1	08:34	71,4	71,6	74,9	69,4	63,7	11,2	78,5	84,7	7,6	4,9	194	387	21	31	3612
		2	08:45	72,8	73,0	75,5	70,3	62,9	12,6	83,3	88,1	7,6	4,9	213	309	18	27	3240
		3	08:56	72,0	72,2	75,4	69,5	63,5	11,9	81,1	86,3	7,6	4,9	112	217	19	15	2088
	P2	1	09:25	75,5	75,7	78,0	73,4	68,6	9,4	76,2	86,4	7,6	5,1	158	346	24	23	3168
		2	09:36	72,9	73,1	76,3	71,5	64,5	11,8	81,7	87,0	7,6	5,1	132	220	16	18	2208
		3	09:51	73,7	73,9	76,0	71,3	66,7	9,3	73,9	84,4	7,6	5,1	145	306	23	19	2844

Observação: d' [m] – distância de referência para o centro da ciclovia, adotada para as análises acústicas; **MT** - quantitativo de motocicletas, em 10 min; **VL** – quantitativo de veículos leves, em 10 min; **VP** – quantitativo de veículos pesados, em 10 min; **Q** – fluxo total de veículos por hora.

Fonte: Elaborado pelo Autor (2024)