UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

LUCAS CARVALHO SILVA

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO DE VIAS DA CIDADE DE AÇAILÂNDIA - MA COM O USO DE UM EQUIPAMENTO MERLIN MODIFICADO

Açailândia
2022

LUCAS CARVALHO SILVA

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO DE VIAS DA CIDADE DE AÇAILÂNDIA - MA COM O USO DE UM EQUIPAMENTO MERLIN MODIFICADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão/Campus Açailândia, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Lucas Manoel da Silva.

Açailândia

2022

S586a

Silva, Lucas Carvalho

Análise das condições de tráfego de vias da cidade de Açailândia - MA com o uso de um equipamento merlin modificado / Lucas Carvalho Silva – Açailândia: UEMASUL, 2022.

106 f. : il.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2022.

1. Vias. 2. Nível de serventia. 3. IRI. 4. QI. 5. Pavimentação flexível. I. Título.

CDU 625.7(812.1)

*Ficha Catalográfica elaborada por **Kenilce Reis**– Bibliotecária CRB 13/840*

LUCAS CARVALHO SILVA

ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO DE VIAS DA CIDADE DE AÇAILÂNDIA - MA COM O USO DE UM EQUIPAMENTO MERLIN MODIFICADO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão/Campus Açailândia, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 01/08/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Me. Lucas Manoel da Silva (Orientador)
Mestre em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Me. Ivo Almeida Costa
Mestre em Transporte
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Prof. Dr. Valdivio Rodrigues Cerqueira
Doutor em Engenharia de Materiais
Instituto Federal do Maranhão

A Deus todo poderoso e a minha família pelo incentivo e determinação em prol do meu objetivo profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido, através de sua bondade e misericórdia, o potencial e a perseverança para corporificar meus objetivos enquanto acadêmico e pessoa.

A meus pais, José Moacy Costa da Silva e Maria Paixão Carvalho Silva, por sempre estarem ao meu lado.

Ao professor Lucas Manoel da Silva que aceitou o desafio de fazer parte desta pesquisa enquanto orientador, aceitando minhas ideias e as melhorando com sugestões que foram substanciais para a conclusão deste trabalho.

Aos diretores e colaboradores da Liga Acadêmica de Geotecnia da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), pelo apoio e colaboração na realização deste trabalho.

Aos meus colegas de classe e amigos, que sempre me proporcionaram ajuda e alegria ao longo destes 5 anos de curso.

RESUMO

A avaliação da condição de tráfego das vias da cidade de Açailândia - MA é algo que até a atualidade foi pouco abordado utilizando os conceitos de irregularidade longitudinal ou outro semelhante. Por intermédio, demonstrar como aferir e trabalhar dados coletados da superfície de rodovias/vias e apresentar o nível de serventia das principais vias do município é uma necessidade substancial. No Brasil são largamente utilizados dois parâmetros para conceituar o estado das rodovias/vias utilizando a irregularidade longitudinal, sendo eles o Internacional Roughness Index (IRI) e o Quociente de Irregularidade (QI). Esse estudo tem como objetivo analisar as condições de rodagem de vias em pavimentação flexível no município de Açailândia - MA, empregando um equipamento MERLIN modificado intitulado MERLIN TEC. Os métodos de pesquisa foram divididos em algumas etapas, de início foram feitos estudos das bibliografias relacionadas a temática, depois o recolhimento e investigação de dados obtidos em campo, a demonstração dos resultados e, por fim a comparação entre os resultados. Considerando isso, foram selecionadas três vias dentre as indicadas pelo superintendente de trânsito da cidade, sendo elas as vias Alexandre Costa, Bonaire e Santa Luzia prosseguindo então na sua análise através do MERLIN TEC em suas trilhas de roda. A avenida Alexandre Costa obteve conceito de serventia regular. A rua Bonaire teve uma classificação péssima devido a presença de deteriorações em alguns subtrechos, sendo necessário fazer regressões de cálculo para se ter uma análise mais adequada, tendo uma classificação regular, em uma nova análise. Por fim a avenida Santa Luzia foi a que apresentou resultados mais satisfatórios de serventia, sendo classificada como boa, e podendo ser transitada a uma velocidade adequada para vias presentes em municípios. Portanto, as vias Alexandre Costa, Bonaire e Santa Luzia, sendo algumas das principais ruas de Açailândia - MA obtiveram classificações de serventia através desse estudo.

Palavras-chave: Vias. Nível de serventia. IRI. QI. Pavimentação flexível. MERLIN.

ABSTRACT

The evaluation of roads in the city of Açailândia - MA is something that until now has been little used with concepts of longitudinal irregularity or similar. Thus, demonstrating how to measure and work with data collected from the surface of highways/ways and present the level of serviceability of the main roads in the municipality is a substantial need. In Brazil, two parameters are widely used to conceptualize the state of highways/ways using a longitudinal irregularity, namely the International Roughness Index (IRI) and the Irregularity Quotient (QI). This study aims to analyze the running conditions of paving roads in the city of Açailândia - MA, using a modified MERLIN equipment called MERLIN TEC. The research methods were divided into a few stages, at first studies of the bibliographies related to the theme were carried out, then the collection and investigation of data obtained in the field, the demonstration of the results and, finally, the comparison between the results. In view of this, three roads were selected among those indicated by the city's traffic superintendent, being the Alexandre Costa, Bonaire and Santa Luzia roads, proceeding then in their analysis through the MERLIN TEC in their tracks. Avenida Alexandre Costa obtained the concept of regular use. Bonaire street had a very bad classification due to the presence of deterioration in some subsections, being necessary to do calculation regressions to have a more adequate analysis, having a regular classification, in a new analysis. Finally, Santa Luzia avenue was the one that presented the most satisfactory utility results, being classified as good, being able to transit at adequate speed for roads present in the municipalities. Therefore, Alexandre Costa, Bonaire and Santa Luzia streets, being some of the main streets of Açailândia - MA, obtained utility ratings through this study.

Key Words: Ways. Service level. IR. QI. Flexible pavements. MERLIN

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Disposição das camadas do pavimento flexível.....24
Figura 2 - Resposta mecânica do pavimento flexível ao pneu do automóvel: pressões concentradas.....25
Figura 3 - Irregularidade Longitudinal e Irregularidade Transversal em rodovias.....26
Quadro 1 - Níveis de Serventia.....29
Figura 4 - Distribuição dos apoios e da sonda no MERLIN.....32
Figura 5 - Esboço do equipamento MERLIN elaborado por Cundill.....32
Figura 6 - Equipamentos MERLIN desenvolvidos para o estudo de pavimentos.....33
Figura 7 - Faixas de variação do IRI dependendo da velocidade de uso e situação.....36
Quadro 2 - Condições de Superfície do Pavimento através de índices de irregularidade.....37
Figura 8 - Descrição das TRI e TRE presentes em uma faixa de trânsito.....39
Figura 9 - Relação entre a marcação (M) e o Comprimento característico parcial (D').....42
Figura 10 - Trecho selecionado da Avenida Alexandre Costa e suas trilhas de roda.....44
Figura 11 - Detalhamento de um subtrecho selecionado da Avenida Alexandre Costa.....45
Figura 12 - Operação do MERLIN TEC na Avenida Alexandre Costa.....46
Quadro 3 - Valores M da Av. Alexandre Costa.....46
Figura 13 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).....47
Figura 14 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).....48
Figura 15 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa.....49
Figura 16 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).....50

Figura 17 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....51
Figura 18 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....52
Figura 19 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....53
Figura 20 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....54
Quadro 4 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego na Avenida Alexandre Costa.....56
Figura 21 - Pavimentação flexível com revestimento de asfalto na Rua Bonaire.....58
Figura 22 - Trecho selecionado na Rua Bonaire e sua Trilha de Roda.....59
Figura 23 - Detalhamento de um subtrecho selecionado na rua Bonaire.....59
Quadro 5 - Valores M da Rua Bonaire.....60
Figura 24 - Gráfico de dispersão da TR na Rua Bonaire.....61
Figura 25 - Canal de escoamento de efluentes e deformações de afundamento na Rua Bonaire.....62
Figura 26 - Passarela de concreto construída sobre a Rua Bonaire.....62
Figura 27 - Histograma de frequência da TR na Rua Bonaire.....63
Quadro 6 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego da Rua Bonaire.....64
Quadro 7 - Níveis corrigidos de serventia e velocidade de tráfego da Rua Bonaire.....65
Figura 28 - Decréscimo do IRI com escala 1:10 em relação ao IRI com escala 1:5.....65
Figura 29 - Trecho selecionado na Avenida Santa Luzia e suas trilhas de roda.....67
Figura 30 - Detalhamento de um subtrecho selecionado da Avenida Santa Luzia.....68
Figura 31 - Operação do MERLIN TEC na Avenida Santa Luzia.....69
Quadro 8 - Valores M da Avenida Santa Luzia.....70
Figura 32 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 1 (Avenida Santa Luzia).....70
Figura 33 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 (Avenida Santa Luzia).....71

Figura 34 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 2 (Avenida Santa Luzia).....72
Figura 35 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 (Avenida Santa Luzia).....73
Quadro 9 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego na Avenida Santa Luzia.....74
Figura 36 - Percentual de afundamentos e elevações.....75
Figura 37 - Variações do IRI nas TR das vias estudadas.....76
Figura 38 - Valores médios de IRI.....77
Quadro 10 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego.....77
Figura 39 - Velocidades de uso das vias municipais brasileiras.....78
Figura 40 - Tempo de percurso do equipamento MERLIN TEC.....79
Figura 41 - Caixa de registro (Tally Box).....86
Figura 42 - Histograma demonstrativo de acúmulo de pontos do TRL.....87
Figura 43 - Esboço do MERLIN TEC.....89
Figura 44 - Dimensões adotadas para confecção do MERLIN TEC.....90
Figura 45 - MERLIN TEC do laboratório HIGEOPAV.....91
Figura 46 - Tablet e trena a laser do MERLIN TEC.....91
Figura 47 - Histograma demonstrativo de acúmulo de pontos.....92
Quadro 11 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).....93
Figura 48 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).....94
Quadro 12 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).....95
Figura 49 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).....96
Quadro 13 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....97
Figura 50 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....98
Quadro 14 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....99

Figura 51 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).....100
Quadro 15 - Valores M encontrados na TR da Rua Bonaire.....101
Figura 52 - Histograma de frequência da TR da Rua Bonaire.....102
Quadro 16 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 1 da Av. Santa Luzia.....103
Figura 53 - Histograma de frequência na TRE - Faixa 1 da Av. Santa Luzia.....104
Quadro 17 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 2 da Av. Santa Luzia.....105
Figura 54 - Histograma de frequência na TRE - Faixa 2 da Av. Santa Luzia.....106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de D, IRI e QI obtidos na Avenida Alexandre Costa.....55
Tabela 2 - Dados obtidos através da trena Bosch GLM 50C na operação do MERLIN TEC na Av. Alexandre Costa.....56
Tabela 3 - Valores de D, IRI e QI obtidos na Rua Bonaire.....64
Tabela 4 - Valores corrigidos de D, IRI e QI obtidos na Rua Bonaire.....64
Tabela 5 - Dados obtidos através da trena Bosch GLM 50C na operação do MERLIN TEC na Rua Bonaire.....66
Tabela 6 - Valores de D, IRI e QI obtidos na Avenida Santa Luzia.....74
Tabela 7 - Dados obtidos através da trena Bosch GLM 50C na Avenida Santa Luzia.....75

LISTA DE SIGLAS

AASHO - American Association of State Highway Officials
AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials
APL - Analisador de perfil longitudinal
ASTM - American Society for Testing and Materials
CDT - Confederação Nacional do Transporte
CONCEPA - Concessionaria da Rodovia Osorio Porto Alegre
DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FWD - Falling Weight Deflectometer
GMR - General Motors Research
HIGEOPAV - Hidráulica, Geotecnia e Pavimentação
ILp - Irregularidade Longitudinal em um ponto
IRI - Internacional Roughness Index (Índice Internacional de Rugosidade)
LAPAV - Laboratório de Pavimentação
MERLIN - Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation
QI - Quociente de Irregularidade
SIP - Superfície Ideal de Projeto
TR - Trilha de roda
TRE - Trilha de Roda Externo
TRI - Trilha de Roda Interno
TRL - Transport Research Laboratory
TRRL - Transport and Road Research Laboratory

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Fórmula que correlaciona IRI com D.....34
Equação 2 - Fator de escala para calibração do MERLIN.....35
Equação 3 - Correlação entre os parâmetros IRI e QI.....36
Equação 4 - Comprimento da circunferência do pneu do MERLIN TEC.....40
Equação 5 - Irregularidade Longitudinal em um ponto.....41
Equação 6 - Indicativo para marcações (M).....41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 17
2 JUSTIFICATIVA 19
3 PROBLEMA 21
4 OBJETIVOS 22
4.1 GERAL 22
4.2 ESPECÍFICOS 22
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 23
5.1 TIPOS DE PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA 23
5.1.1 Pavimentação Flexível 24
5.2 IRREGULARIDADE LONGITUDINAL DO PAVIMENTO 25
5.2.1 Avaliação de pavimentos 27
5.3 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO DA IRREGULARIDADE LONGITUDINAL 29
5.3.1 Sistemas de medidas diretas do perfil 29
5.3.2 Sistemas de medidas indiretas do perfil 30
5.3.3 Sistemas baseados na reação do veículo (Sistemas medidores tipo resposta) 30
5.3.4 Sistemas de medida com sonda sem contato 30
5.4 MACHINE FOR EVALUATING ROUGHNESS USING LOW-COST INSTRUMENTAL - MERLIN 31
5.4.1 Descrição geral 32
5.4.2 Método de uso 34
5.4.3 Calibração do equipamento 35
5.5 PARÂMETROS DE IRREGULARIDADE 35
5.5.1 Internacional Roughness Index (IRI) 36
5.5.2 Quociente de Irregularidade (QI) 37
5.6 DETERMINAÇÃO DO ESTADO DE RODAGEM DA RODOVIA 37
6 METODOLOGIA 38
6.1 PLANO DE ESTUDO 38
6.2 MÉTODO 38
6.2.1 Escolha do local de pesquisa 38
6.2.2 Recolhimento e investigação de dados utilizando o MERLIN modificado 39
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES 43
7.1 AVENIDA ALEXANDRE COSTA 43
7.1.1 Descrição e analises iniciais 43

7.1.2 Levantamento dos dados de Irregularidade Longitudinal utilizando o MERLIN....45
7.1.3 Investigação dos dados 47
7.1.4 Determinação do IRI, QI e conceito da rodovia 55
7.2 RUA BONAIRE 57
7.2.1 Descrição e analises iniciais 57
7.2.2 Levantamento dos dados de Irregularidade Longitudinal utilizando o MERLIN....60
7.2.3 Investigação dos dados 61
7.2.4 Determinação do IRI, QI e conceito da rodovia 63
7.3 AVENIDA SANTA LUZIA 66
7.3.1 Descrição e analises iniciais 66
7.3.2 Levantamento dos dados de Irregularidade Longitudinal utilizando o MERLIN 68
7.3.3 Investigação dos dados 70
7.3.4 Determinação do IRI, QI e conceito da rodovia 74
7.4 ANALISES MULTIPAVIMENTOS.... 75
8 CONCLUSÃO 80
REFERÊNCIAS.... 82
ANEXOS 85
APÊNDICES 88

1 INTRODUÇÃO

As condições precárias de rodovias descrevem de forma significativa o baixo investimento do órgão público responsável pela sua manutenção. A Confederação Nacional do Transporte (CNT) mostra em sua pesquisa fatores que provocam essa má condição, sendo eles, as deficiências no planejamento, na execução e na manutenção das rodovias (CNT, 2021). Com isso, é de extrema importância que métodos de análise de vias rápidos e eficientes sejam estudados, aperfeiçoados, testados e publicados para que o Poder Público possa reconhecer a real condição de suas vias de rodagem.

Conforme o The World Bank (2010), devido o constante crescimento do tráfego de veículos nas estradas brasileiras, consequentemente tornando elas sujeitas a maiores solicitações, o processo de degradação se tornou acelerado, reduzindo assim a vida útil dessa estrutura viária. No munício de Açailândia - MA, esse crescimento do tráfego de veículos pela cidade, ocorre principalmente devido a sua expansão urbana e devido sua localização estratégica, tendo proximidades com ferrovias e rodovias federais.

Ressalta-se que 99% do modal rodoviário brasileiro é composto por rodovias onde sua estrutura foi executada utilizando o processo construtivo de pavimentação flexível (CNT, 2021). Segundo a CNT (2021) as rodovias brasileiras se englobam como a infraestrutura com a maior participação na matriz de transporte, cerca de 61% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros.

Diante disso, o modal rodoviário de pavimentação flexível ou asfáltica se torna bastante importante economicamente, sendo necessário o seu funcionamento regular e sua estrutura adequada para que o translado dos automóveis não seja prejudicado. Entretanto, tal condição idealizada não se concretiza, e conforme a CNT (2021) a má situação das estradas brasileiras passa dos 40% em todas às cinco regiões do país, sendo um empecilho que afeta diretamente a economia brasileira. Com isso, é valido salientar a importância da avaliação de pavimentos, pois através dela o órgão responsável pela manutenção e/ou construção será induzido a fazer medidas cabíveis para uma possível solução.

De acordo com Sayers e Karamihas (1998) para a análise das condições dos pavimentos de forma funcional onde é analisada apenas a parte superficial do

pavimento, o primeiro índice a ser largamente estudado foi a irregularidade longitudinal. Um estudo elaborado pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no ano de 2006 indicou que no Brasil são largamente utilizados dois parâmetros para conceituar o estado das rodovias utilizando a irregularidade longitudinal, sendo eles o Internacional Roughness Index (IRI) e o Quociente de Irregularidade (QI) (DNIT, 2006).

Com isso, o entendimento desse fator é de extrema importância para este trabalho, dado que o equipamento utilizado tem a irregularidade longitudinal como elemento chave para determinar as condições de rodagem das ruas da cidade de Açailândia - MA.

Um exemplo de equipamento é o Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation (MERLIN), apesar de ser um equipamento simples ele possui uma boa exatidão das medidas na faixa de IRI. De acordo com Cundill (1991) tal equipamento foi elaborado para se tornar acessível e de fácil manuseio, portanto sua utilização poderá ser efetuada por profissionais especializados com cursos de capacitação rápida.

Para otimizar a utilização e coleta de dados do projeto desenvolvido pelo Transport and Road Research Laboratory (TRRL), chamado atualmente por Transport Research Laboratory (TRL), busca-se neste trabalho utilizar um equipamento com os mesmos princípios de análise do MERLIN, mas contendo tecnologias da atualidade, tornando o equipamento mais eficiente, além de utiliza-lo na cidade de Açailândia - MA coletando dados de IRI e QI para a possível avaliação funcional das vias.

2 JUSTIFICATIVA

Os estudos acerca das condições de rodagens de vias do município de Açailândia são de urgente e extrema importância, dada a sua relevância macroeconômica. Para Boyu et al. (2019) a condição da pavimentação de vias influencia na segurança dos condutores. Portanto, o mau estado das vias presentes no município pode causar diversos problemas a população utilitária, como por exemplo, afetar a segurança do condutor.

Essas consequências desagradáveis são decorrentes da falha na fiscalização do peso dos automóveis que trafegam nas rodovias e da péssima qualidade do trabalho de reformulação desses pavimentos devido ao baixo investimento público (CNT, 2021). Essas dificuldades resultam em congestionamentos, acidentes com perda material, acidentes com mortes, manutenções fora de ordem e entre outros.

Conforme a Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP), em relação a sobrecarga que ocorre nas infraestruturas de transporte ocasionada por veículos de grande porte, por exemplo caminhões, tais sobrecargas possuem uma grande parcela de culpa sobre os efeitos danosos nas pavimentações rodoviárias e urbanas (FIESP, 2017). De acordo com a FIESP (2017), fatores que alavancaram esse flagelo foi a pressão da crise sobre os custos dos fretes, que provocou no abastecimento de carga desses caminhões uma quantidade fora do normal de produtos e, outro fator, foi a falta de controle nas estradas devido a ineficiência na fiscalização desses veículos.

De acordo com Nakahara (2005), a pavimentação rodoviária e urbana é perecível, como na maioria das estruturas, ela possui um determinado tempo de pleno funcionamento ou o chamado “ciclo de vida”. Portanto, sempre ocorrera patologias nessas estruturas, sendo necessário periodicamente intervenções como manutenção, demolição ou construção.

Segundo a CNT (2021), trechos de rodovias administradas sob o Poder Público tiveram uma queda de estado de qualidade de 4,3% fazendo um comparativo entre estudos feitos no ano de 2019 e 2021.

Conforme a 21ª Pesquisa de Rodovias realizada pela CNT (2021), aproximadamente 106 mil quilômetros de rodovias foram analisados e desse trecho

metade apresentou problemas em sua infraestrutura, sendo esses 50% classificados qualitativamente como regular, ruim ou péssimo.

Entre os anos de 2005 a 2015 a malha viária brasileira passou por uma evolução em relação ao processo de pavimentação, contudo tal processo foi insuficiente para evitar problemas de mobilidade nessas rodovias (FIESP, 2017). Ainda, segundo os dados da mesma pesquisa, nesse período, houve um acréscimo de trechos rodoviários com o estado geral de conservação ruim, consequentemente gerando problemas aos usuários, provocando o desgaste de seus veículos e em casos mais graves provocando acidentes de trânsito.

De pose do exposto, nota-se que até dado momento, a avaliação da condição de serventia das vias da cidade de Açailândia - MA é algo que até a atualidade foi pouco abordado utilizando os conceitos de irregularidade longitudinal ou outro semelhante. Fazendo com que a população local não possua nenhum dado que mostre de maneira simples a real situação das vias da sua própria cidade.

Mesmo os dados da CNT sendo catalogados em rodovias federais, isso não tira de cena as más condições das vias de municípios, e como dito anteriormente essas patologias nas rodovias são problemas além de simples buracos, podendo assim afetar a economia dessas cidades, sendo um exemplo disso um possível aumento nos gastos da prefeitura e da população com acidentes provocados por essas vias.

Vale ressalta, ainda, que esses defeitos são identificados facilmente pela população utilitária dessas vias, pois a má condição da superfície do pavimento irá afetar o conforto do usuário ao está trafegando sobre ela (BERNUCCI et al., 2010). Essa percepção empírica é a única maneira que os condutores da cidade possuem para determinarem as condições da via, e isso de forma indireta, visto que eles utilizam essa infraestrutura não para avaliá-la e sim para se deslocarem pela cidade.

Visando atrair atenção para o tema, o trabalho apontará as condições de determinadas vias do município, onde elas serão escolhidas de acordo com sua importância e utilização pública (mais movimentação de pedestres e automóveis), demostrando assim se tais ruas estarão em condições ideais de rodagem.

Portanto, torna-se necessário o estudo das ruas do município de Açailândia Maranhão para que os problemas nos revestimentos viárias sejam expostos para os cidadãos que possuam residência no município e para a prefeitura. Sendo um precursor para tal ideia essa pesquisa.

3 PROBLEMA

Quais são as condições de tráfego das infraestruturas viárias do município de Açailândia - MA?

4 OBJETIVOS

4.1 Geral

Analisar as condições de rodagem de vias em pavimentação flexível no município de Açailândia - MA, empregando um equipamento MERLIN modificado.

4.2 Específicos

- Utilizar os dados obtidos pelo equipamento para determinar o IRI e o QI da via em estudo;
- Empregar as fórmulas de correlação para determinar o QI da via em estudo;
- Classificar o estado de funcionamento de vias substâncias para a cidade de Açailândia;
- Mostrar através desse estudo a serventia das principais ruas e avenidas da cidade.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 Tipos de pavimentação rodoviária

Com o intuito de garantir uma estrutura segura, com comodidade e resistente aos esforços provocados pelo tráfego de veículos, a pavimentação rodoviária possui uma determinada quantidade de camadas, onde o conjunto dessas camadas aliado com a superfície de terraplanagem, irá garantir essas qualidades (BERNUCCI et al., 2010). Com isso Bernucci et al. (2010), definem a pavimentação como uma estrutura detentora de camadas cuja finalidade seja de resistir aos esforços oriundos das solicitações provocadas pelos veículos que circulam por ela.

Essas camadas citadas são divididas em revestimento, base, sub-base, reforço de subleito e subleito. O glossário de termos técnicos rodoviários do DNIT (2017) as define como:

1. Revestimento: camada localizada na extremidade externa do pavimento, sua função é a de permitir uma condição de rodagem adequada para os veículos, além de receber diretamente as ações dos veículos e do meio ambiente.

2. Base: essa camada será responsável por resistir aos esforços provenientes do peso dos veículos, e consequentemente, distribuir essas cargas para a camada logo abaixo.

3. Sub-base: camada cuja função seja a mesma da base, geralmente utilizada para fins de economia, quando for possível diminuir a espessura de base.

4. Reforço de subleito: essa camada será responsável por resistir aos esforços provenientes do peso dos veículos, e consequentemente, distribuir essas cargas para a camada logo abaixo.

5. Subleito: maciço cuja função seja distribuir as cargas provenientes das camadas restantes para a superfície de terraplanagem, em outras palavras seria a camada de fundação do pavimento.

Bernucci et al. (2010), afirmam que existem duas categorias de pavimentação, sendo elas classificadas em rígidas e flexíveis. A pavimentação rígida, é caracterizada por possuir em seu revestimento placas de concreto de cimento Portland, essas placas conforme o seu dimensionamento, podem ser armadas ou não

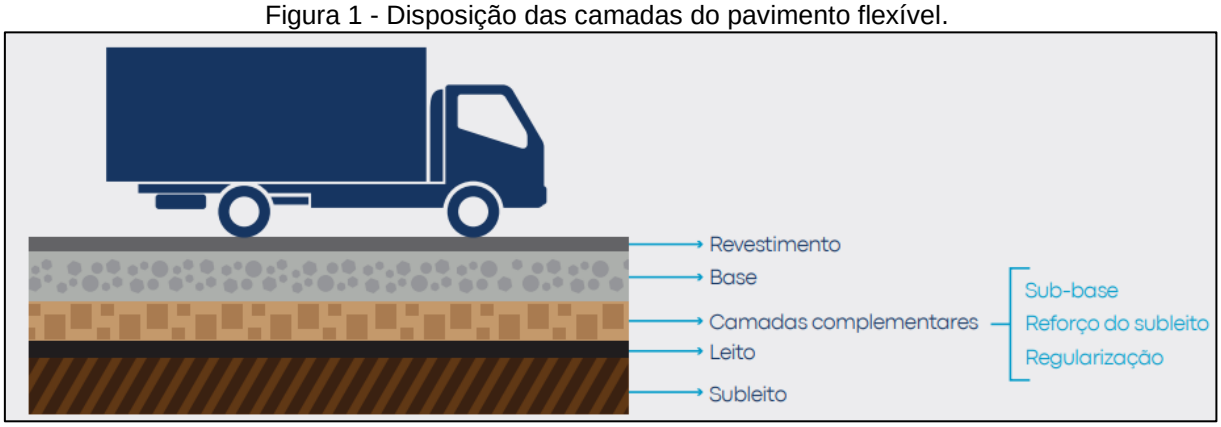
armadas, em relação aos pavimentos flexíveis, estes são caracterizados por possuírem em seu revestimento uma mistura constituída de agregados e ligantes asfálticos, podendo ser chamados de pavimentos asfálticos (BERNUCCI et al., 2010).

O manual de pavimentação do DNIT (2006), considera a existência de três categorias de pavimentação, sendo elas as mesmas que Bernucci et al. (2010) propôs, entretanto, acrescentando um, o pavimento composto. Vale ressaltar, que esse manual do DNIT afirma que essa categoria de pavimento, como o próprio nome, é de certa forma uma junção entre as técnicas de pavimentação rígida e asfáltica, podendo ser constituído por uma camada de solo-cimento e um revestimento asfáltico (DNIT, 2006).

5.1.1 Pavimentação Flexível

O manual de pavimentação do DNIT (2006) cita que o pavimento flexível é uma estrutura cujo o seu conjunto de camadas quando sujeito a cargas provocadas por veículos, sofre deformação elástica significativa, sendo essas cargas distribuídas em parcelas equivalentes entre cada camada. As camadas do pavimento podem ser distribuídas esquematicamente como ilustrado na Figura 01.

Figura 1 - Disposição das camadas do pavimento flexível.

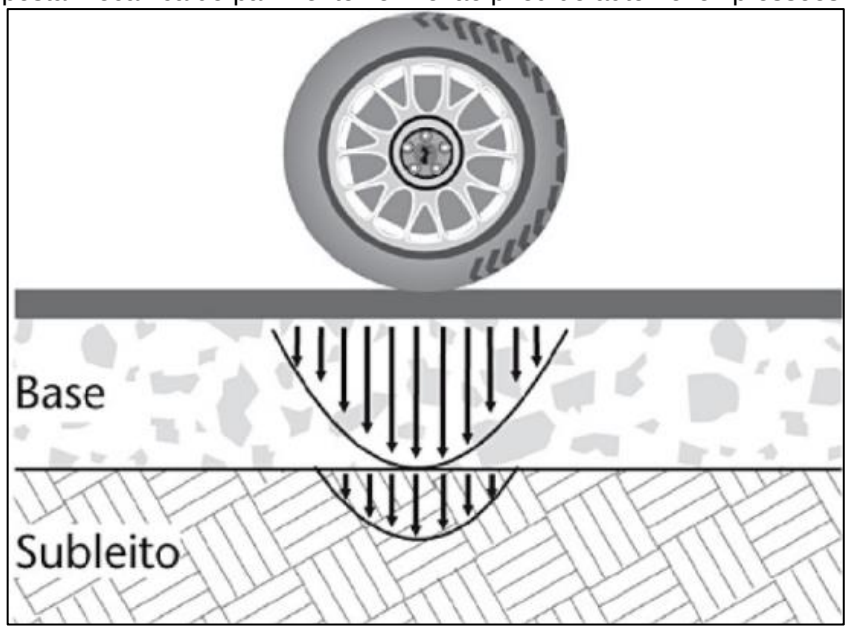


Fonte: CNT (2021).

Balbo (2007) em seus estudos explica que nos pavimentos flexíveis a resposta mecânica proveniente da ação de automóveis, é demostrada a partir de uma carga distribuída longitudinalmente na direção vertical negativa, onde essa carga tem um formato côncavo. Essas cargas geradas por veículos automotores são transmitidas através dos agregados presentes no revestimento, com isso, as misturas

asfálticas devem possuir uma certa porcentagem de vazios depois do processo de compactação, sendo esses valores de 4% a 6%, portanto essas misturas terão um comportamento estável mediante a ação do tráfego (BERNUCCI et al., 2010). O comportamento da estrutura trafegável em utilização difere das outras categorias de pavimentação conforme cada camada e profundidade como visto na Figura 02, onde é mostrada a reação das camadas em um pavimento flexível.

Figura 2 - Resposta mecânica do pavimento flexível ao pneu do automóvel: pressões concentradas.



Fonte: Balbo (2007).

Segundo Pinto (2003) o pavimento asfáltico é constituído por materiais muito ou moderadamente deformáveis obrigando no seu processo construtivo os técnicos e engenheiros a utilizarem camadas bastante espessas, para que a tensão no solo de fundação não ultrapasse valores de estado de limite último.

Ainda sobre a estrutura dos pavimentos flexíveis no Brasil, devido à ineficácia no cumprimento das exigências técnicas, essas estruturas, em suas maiorias, tornaram-se deficientes em relação ao suporte das camadas, um dos fatores que colaboram para esse problema, são os materiais empregados nesse processo (CNT, 2021). Consequentemente, essa má execução pode ocasionar uma vida útil fora do normal, podendo essa estrutura colapsar antes do período determinado, provocando maiores custos com reformas.

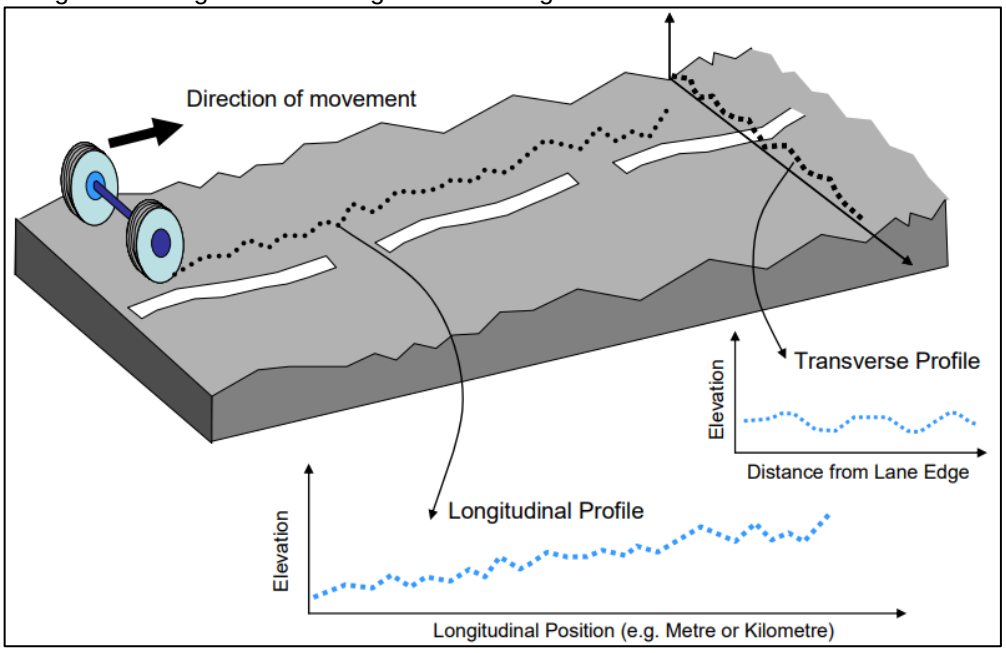
5.2 Irregularidade longitudinal do pavimento

Conforme a norma da American Society for Testing and Materials (ASTM) a irregularidade longitudinal em pavimentos são desvios ao longo de uma superfície verdadeiramente plana, cujas dimensões dessa rodovia determinam a dinâmica do veículo e a qualidade de condução (ASTM E 867, 1982).

Ainda sobre a definição da irregularidade longitudinal, o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) indica em sua norma que a irregularidade longitudinal é um desvio da superfície da via de rodagem em relação a uma linha imaginária, esse desvio indica se a estrada possui uma dinâmica de tráfego de veículos regular, e indica, também, as condições de rodagem da rodovia em estudo (DNER - PRO 182, 1994).

Essa linha imaginaria deve ser considerada paralela ao eixo da rodovia, além disso, a irregularidade longitudinal é medida ao longo das Trilhas de Roda (TR), visto que essas regiões sofrem mais desgastes devido à constância de carregamentos provocados pelos veículos (BERNUCCI et al., 2010). Bernucci et al. (2010) demonstram que essas irregularidades também podem ser consideradas fora dos trilhos de roda, para melhorar o detalhamento do perfil em estudo. Tais irregularidades são desvios ao longo da superfície como observado na Figura 03.

Figura 3 - Irregularidade Longitudinal e Irregularidade Transversal em rodovias.



Fonte: COTO (2007).

A importância do estudo da irregularidade longitudinal, pode ser exemplificada pelo fato de determinar os custos operacionais de uma superfície

pavimentada, além de ser uma medida que demonstra as condições da estrada analisada (CUNDILL, 1991).

5.2.1 Avaliação de pavimentos

A avaliação de uma superfície rodoviária é imprescindível, pois a condição de um pavimento não influencia apenas a segurança dos condutores, mas também, o nível de conforto dos usuários, além de provocar consequências bem serias como, por exemplo, acidentes (BOYU et al., 2019).

Balbo (2007) ressalta a importância da avaliação de pavimentos utilizando tanto o estudo estrutural quanto o estudo superficial, pois tal método irá possibilitar aos profissionais da construção civil uma maior exatidão na definição dos padrões e causas de patologias existentes nos pavimentos.

5.2.1.1 Avaliação Estrutural

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), determina que a avaliação estrutural é um procedimento de importância significativa, visto que localizada as imperfeições estruturais no pavimento, tais patologias poderão ser corrigidas por meio do reforço estrutural, sendo alternativas viáveis o recapeamento, reciclagem e reconstrução da rodovia. Essa avaliação pode ser realizada por levantamentos na superfície do pavimento, onde por meio dos dados coletados torna-se possível realizar ensaios destrutivos e não destrutivos (DNIT, 2006).

Para Balbo (2007) a avaliação destrutiva pode descrever por completo todo o sistema estrutural do pavimento, podendo ser empregados processos mecânicos ou manuais na abertura de furos, extração de amostras ou abertura de trincheiras transversais, determinando assim: as camadas existentes, quais materiais foram utilizados para sua construção, espessura granulométrica desses materiais e, ainda, o estado de degradação de cada camada.

Já na avaliação não destrutiva, o seu processo não ocorre através da quebra ou retirada de amostra do solo e, sim, através do estudo das deflexões que ocorrem ao longo do pavimento (BALBO, 2007). Segundo Balbo (2007), para essa

finalidade, no Brasil, dois equipamentos são bastante utilizados, sendo eles o defletômetro de impacto, em inglês Falling Weight Deflectometer (FWD) e, principalmente, a viga de Benkelman, sendo o equipamento mais difundido no país.

Rodrigues (1992) ressalta que a avaliação estrutural vem sendo intensificada, dado que através do estudo do comportamento do pavimento diante das cargas empregadas em sua superfície diariamente, características físicas e o comportamento dos materiais diante dessas solicitações poderão definir precisamente a vida útil do pavimento.

5.2.1.2 Avaliação Funcional

A avaliação funcional de um determinado pavimento está intimamente relacionada, a capacidade de suporte, ao conforto, ao rolamento e a segurança dos usuários, visto que essa avaliação observa mais a superfície do pavimento (ANTT, 2012). Do ponto de vista do usuário quando o mesmo observa o mau estado da superfície de rodagem, consequentemente essa problemática irá provocar um desconforto na ação de trafegar sobre esse pavimento (ANTT, 2012).

Autores como Silva (2006) e Bernucci et al. (2010) também buscaram uma melhor definição para essa categoria de avaliação de rodovias.

Silva (2006) define a avaliação funcional como sendo um parâmetro para determinar o grau de deterioração de um pavimento, sendo os objetos de estudo deste, a quantidade de patologias superficiais e quais patologias presentes na superfície da via. Conforme o Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos escrito por Silva (2008), tais patologias que ocorrem na superfície dos pavimentos podem ser trincas, corrugação, panelas, fendas e entre outras.

Bernucci et al. (2010) dizem que a avaliação funcional de um pavimento está relacionada a uma análise empírica do estado em que se encontra uma rodovia, além da análise de conforto ao rolamento.

O primeiro método estabelecido para avaliação funcional de pavimentos foi o de serventia de um dado trecho de pavimento, elaborado por Carey e Irick no ano de 1960 para as pistas experimentais da American Association of State Highway Officials (AASHO) hoje, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (BERNUCCI et al., 2010).

Bernucci et al. (2010) demonstram que o valor de serventia atual é determinado por intervalos numéricos compreendidos em uma escala de 0 a 5, sendo atribuído a cada intervalo numérico uma determinada condição de rolamento, dada pela média de notas de avaliadores para o conforto ao rolamento. No Brasil, são adotados cinco níveis de serventia, no Quadro 1 que foi elaborada pelo DNIT 009/2003 – PRO é observado o padrão de conforto ao rolamento e sua respectiva faixa de notas (DNIT, 2003).

Quadro 1 - Níveis de Serventia.

Padrão de conforto ao rolamento	**Avaliação (faixa de notas)**
Excelente	4 a 5
Bom	3 a 4
Regular	2 a 3
Ruim	1 a 2
Péssimo	0 a 1

Fonte: Bernucci et al. (2010) adaptado do DNIT (2003).

5.3 Equipamentos de medição da irregularidade longitudinal

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006) enquadra os equipamentos e processos que determinam a irregularidade longitudinal dos pavimentos em quatro grupos. Sendo eles, os sistemas de medidas diretas e o de medidas indiretas do perfil dos pavimentos, sistemas baseados na reação do veículo (medidores tipo resposta) e os sistemas de medida com sonda sem contato.

5.3.1 Sistemas de medidas diretas do perfil

A medida utilizada será a geometria vertical do pavimento, podendo ser obtida direta/manualmente e coletada por equipamentos de topografia ou instrumentos adequados. Como exemplos, tem-se:

- Método de Nível e Mira;
- Abay Beam do TRRL.

5.3.2 Sistemas de medidas indiretas do perfil

Executam medidas mecanizadas do perfil da via. Obtendo valores por processamento de dados, como, por exemplo, o coeficiente de irregularidade. Como exemplos, tem-se:

- Perfilômetro Dinâmico de superfície – GMR;
- Perfilômetro AASHTO;
- Analisador de perfil longitudinal – APL;
- Perfilômetro CHLOE;
- MERLIN do TRRL.

5.3.3 Sistemas baseados na reação do veículo (Sistemas medidores tipo resposta)

Essas categorias de equipamentos baseiam-se em determinar cumulativamente os movimentos relativos entre o eixo traseiro do veículo e sua carroceria, a partir do que, estatisticamente, pode-se caracterizar a irregularidade. Os sistemas tipo-resposta mais conhecidos são:

- Rugosímetro BPR;
- Maysmeter;
- Bump Integrator;
- Integrador de deslocamentos lineares sul-africano (LDI);
- PCA roadmeter;
- Sistema integrador IPR/USP.

5.3.4 Sistemas de medida com sonda sem contato

Baseiam-se na reflexão de uma onda sonora ou raio “laser” emitido por um dispositivo situado sob o veículo. São exemplos destes sistemas:

- Perfilômetro “laser” do TRRL;
- Perfilômetro “acústico” da Universidade FELT.

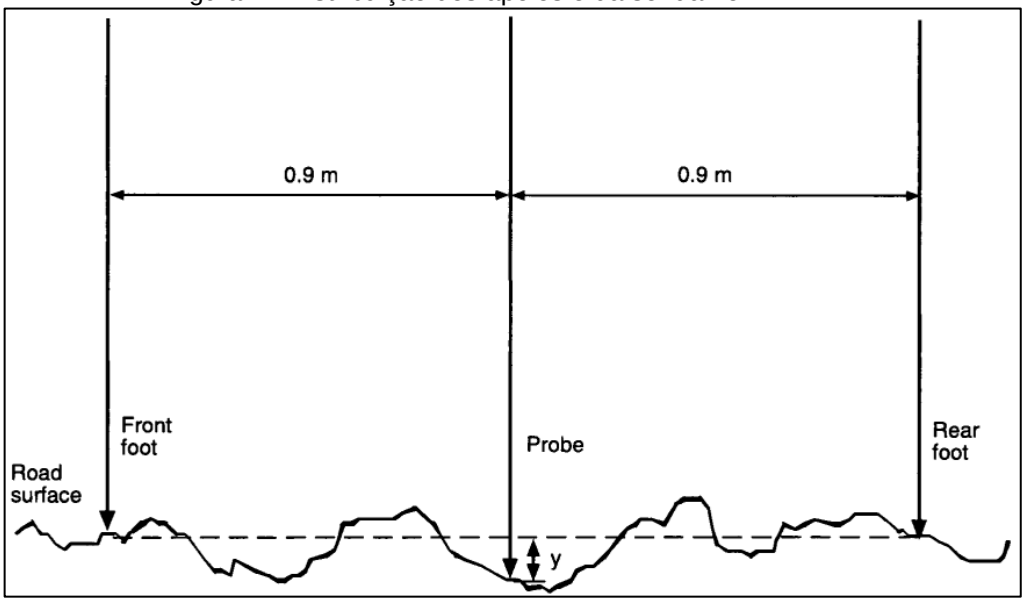
Dentre todos esses equipamentos será destacado o MERLIN, visto que esse equipamento será estudado e posteriormente utilizado a sua versão modificada, para cumprir com os objetivos propostos nessa pesquisa.

5.4 Machine for Evaluating Roughness using Low-cost instrumental - MERLIN

Desenvolvido pelo TRL, o MERLIN foi elaborado buscando tornar a avaliação de estradas mais viável, Cundill (1991) ressalta muito bem a possível eficácia da utilização dessa máquina em países em desenvolvimento, pois devido a sua simplicidade, o seu processo de construção e utilização tornam-se economicamente viáveis.

O MERLIN possui um apoio em cada extremidade, um comprimento de 1,8 metros, além de possuir uma sonda localizada na parte intermediaria do aparelho, onde toca a superfície da estrada ao longo dos intervalos de medição. Com isso, o seu princípio de funcionamento se baseia na análise do deslocamento vertical da sonda em um trecho longitudinal, e Cundill (1996) chama essa variação de deslocamento “y”. Esse deslocamento é obtido através do comportamento da sonda, tomando como referência uma linha imaginaria traçada entre os apoios. A partir dessa premissa, Cundill aferiu o desvio utilizando o ponto de contato da sonda com a superfície e com isso determinou se houve deslocamentos acima ou abaixo da linha imaginaria (CUNDILL, 1996). A distribuição dos apoios e da sonda é constatada na Figura 4.

Figura 4 - Distribuição dos apoios e da sonda no MERLIN.

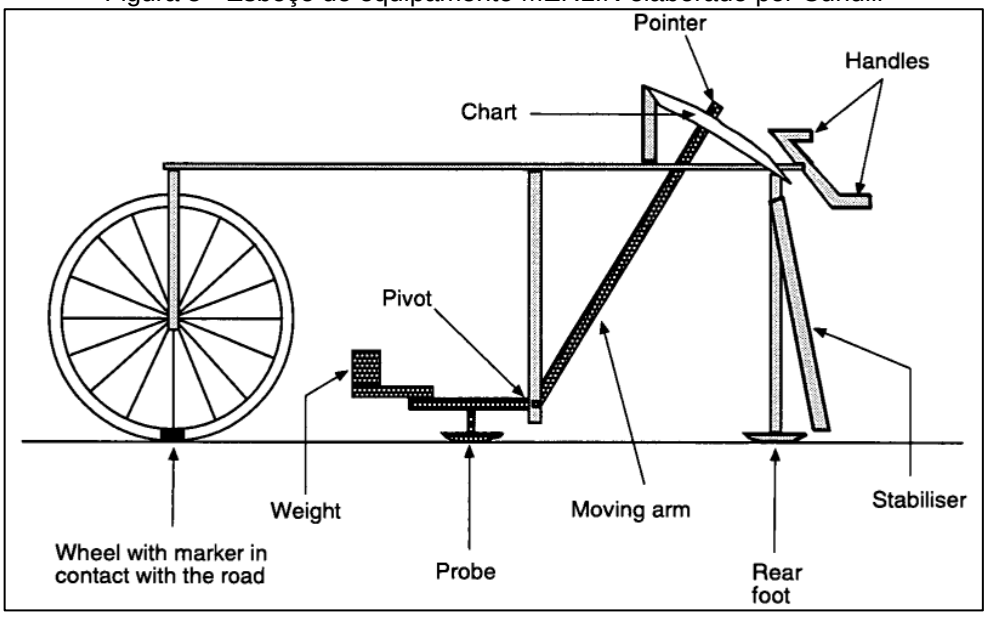


Fonte: Cundill (1996).

5.4.1 Descrição geral

O equipamento MERLIN possui um apoio traseiro, um ponteiro para marcação dos pontos medidos, um gráfico, alças para sua utilização manual, pivô, peso, sonda, um braço móvel, pé traseiro e um pneu (CUNDILL, 1996) como exposto na Figura 5.

Figura 5 - Esboço do equipamento MERLIN elaborado por Cundill



Fonte: Cundill (1996).

Segundo Cundill (1991) para a fabricação do MERLIN são utilizados materiais como tubos de aço e qualquer tipo de roda de bicicleta comum. Esses tubos de aço vazados devem ter uma seção quadrada, 25 x 25 mm com espessura de 1,5 mm, para fabricação dos componentes do chassi. Sobre a junção de cada peça que compõe o chassi, é utilizado o processo de solda, tendo como ressalva as alças e o estabilizador, visto que essas peças são fixadas por parafusos, conferindo uma certa facilidade no transporte do equipamento para os locais que ele será utilizado (CUNDILL, 1991). Algumas construções elaboradas por vários autores que estudaram sobre o equipamento de avaliação de rodovias MERLIN é observado na Figura 6.

Figura 6 – Equipamentos MERLIN desenvolvidos para o estudo de pavimentos.

Fonte: Morrow *et al*. (2006).

Fonte: CDT (2017).

Fonte: Hirpahuanca (2016).

Fonte: Silva (2019).

Fonte: CDT (2017); Hirpahuanca (2016); Morrow et al. (2006); Silva (2019).

O MERLIN possui duas relações de escala para determinar o desvio vertical, sendo elas 1:10 e a 1:5. A relação 1:10 consiste em multiplicar por um fator de 10 os desvios verticais da superfície, ou seja, um desvio vertical de 1 mm irá gerar no ponteiro um deslocamento de 10 mm. Para a relação 1:5, o sistema irá funcionar da mesma forma, entretanto modificando apenas o fator de multiplicação, utilizando um fator de 5 (CUNDILL, 1991). O Centro de Desenvolvimento Tecnológico (CDT), da concessionária administradora de rodovias Arteris, explica para quais finalidades são utilizadas essas relações, sendo a relação de 1:10 mais adequada para levantamento

de pavimentos pouco deteriorados, e a 1:5 utilizada em pavimentos demasiadamente deteriorados (CDT, 2017).

5.4.2 Método de uso

Para determinar a irregularidade longitudinal de um trecho utilizando o MERLIN, o segmento a ser escolhido deve ser maior ou igual a 100 metros, possibilitando uma quantidade de 200 medidas de leitura na passagem do MERLIN pelos trilhos de roda (CDT, 2017). Cundill (1996) elaborou uma caixa de contagem, cuja função seja de organizar as medidas para não ocorrerem erros de contagem, sendo esse recurso constatado no Anexo I.

Segundo o CDT (2017), a cada medida, o equipamento deve estar com todos os seus apoios verticalmente em contato com a superfície rodoviária além do pé central móvel, pois este irá acionar o ponteiro. Realizada a primeira medição, a próxima deve ser efetuada logo após deslocar o MERLIN por um percurso de 2 metros (uma volta completa da roda), tendo em vista que nesse processo o apoio traseiro do equipamento deve estar erguido de modo que o apoio móvel fique livre. Esse processo deve ser realizado até o operador conseguir todas as 200 medições, sendo necessário que o trecho seja sempre 2 metros (CDT, 2017).

Conforme o CDT (2017) e Cundill (1996), depois que as 200 aferições foram executadas e salvas, é realizado o tratamento estático dos dados obtidos. Esse tratamento é feito através de um histograma de frequência observado no Anexo II, onde 10% das medidas das extremidades do histograma são descartadas, 5% na parte superior e 5% na parte inferior.

Através da análise do histograma com todas as anotações realizadas, é possível determinar a largura característica do histograma, adotada a letra “D” para representá-la (CUNDILL, 1996). Com o valor “D” encontrado, basta a utilização das fórmulas de correlação para a determinação dos parâmetros de irregularidade (CUNDILL, 1996).

Segundo Cundill (1996) e o CDT (2017) a fórmula que correlaciona IRI com D, para análise em pavimentos flexíveis é dada pela Equação 1:

$$IRI = 0{,}593 + 0{,}0471D \quad (1)$$

Onde:
IRI: Índice de Irregularidade Internacional (mm/m).
D: Largura característica do histograma (mm).

Cabe destacar, que poderá ocorrer casos onde as marcações no histograma não irão possibilitar uma leitura exata da medida “D”. No caso de uma das medidas que deveria ser descartada estar presente na linha de outras medidas que irão ser consideradas, e deste modo uma possível solução seria a de interpolar os limites das colunas que apresentarem essa condição (CUNDILL, 1991).

5.4.3 Calibração do equipamento

A Equação 1 assume que “D” foi derivado usando uma amplificação mecânica de 10. De acordo com Cundill (1996) na pratica essa amplificação não será exatamente esse valor devido, as imprecisões na fabricação e o fato de o MERLIN possuir outra amplificação mecânica de 5.

Para corrigir essas imperfeições, foi elaborado um fator de escala que será observado na Equação 2, onde sua utilização compreende o estudo do comportamento da sonda do MERLIN reagindo a um corpo de prova metálico de 50 milímetros por 25 milímetros, possuindo uma espessura igual a 6 milímetros (CUNDILL, 1996). Esse processo deve ser repetido para verificar a consistência das medições, e através do espaço entre às duas marcas (S) e a espessura do bloco (T), tem-se o fator de escala que será multiplicado pelas medições efetuadas no histograma, sendo suas unidades em milímetros (CUNDILL, 1996).

$$F = \frac{10T}{S} \qquad (2)$$

5.5 Parâmetros de irregularidade

No Brasil, os parâmetros mais utilizados são o IRI e o QI, visto que o DNER considera o quociente de irregularidade como o índice de irregularidade oficial, e alguns órgãos, agências e concessionárias optam pela utilização dos resultados em

IRI (DNIT, 2006). Para uma possível correlação entre esses parâmetros o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos do DNIT (2006) indica a utilização da Equação 3.

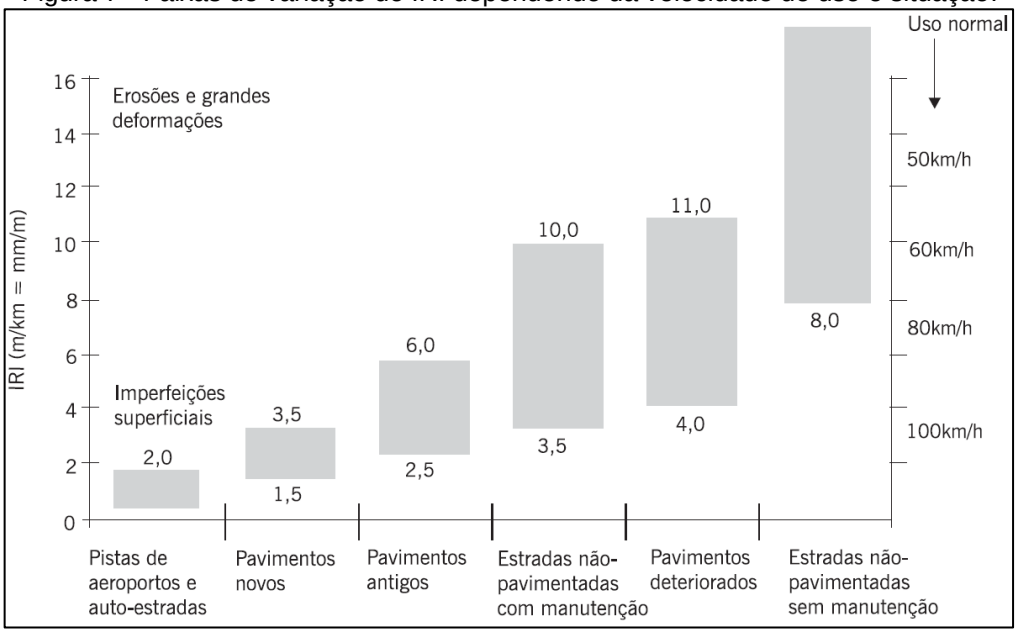
$$IRI\ (m/km) = \frac{QI\ (cont./km)}{13} \qquad (3)$$

5.5.1 Internacional Roughness Index (IRI)

Para Bernucci et al. (2010), o IRI é um índice estatístico que quantifica os desvios da superfície da rodovia em relação a uma linha imaginária, podendo essa linha ser representada pela superfície da rodovia projetada. Em alguns países, o IRI tem sido utilizado para determinar as condições de rodagem de rodovias, e também, para avaliar os serviços de empresas responsáveis pela execução dessa infraestrutura (BERNUCCI et al., 2010).

Sayers e Karamihas (1998) em seus estudos, demonstram como são as faixas de IRI conforme a situação e o caso dos pavimentos. Na Figura 7 é observado os valores IRI que foram obtidos em diferentes situações, mostrando os valores obtidos segundo a velocidade que os veículos trafegam nessas rodovias.

Figura 7 - Faixas de variação do IRI dependendo da velocidade de uso e situação.



Fonte: Sayers, M. W.; Karamihas, S. M. (1998).

5.5.2 Quociente de Irregularidade (QI)

Queiroz (1981) a partir de seus estudos a respeito das irregularidades, gerou um índice cujas unidades eram formuladas a partir de contagens por quilometro, chamando esse índice de Quociente de Irregularidade. De acordo com Barella (2008) o QI diferente do IRI é um índice normalizado no Brasil, entretanto esse fato só ocorre devido à preferência dos órgãos brasileiros pela utilização desse índice.

Barella (2008) mostra que o QI não é um índice utilizado pelos países desenvolvidos. Essa situação causa inconveniências quando comparado as situações das malhas rodoviárias brasileiras com as de superpotências econômicas, atrapalhando comparações diretas, dado que esses países utilizam o IRI (BARELLA, 2008).

5.6 Determinação do estado de rodagem da rodovia

Echeverria (2011) informa que a irregularidade longitudinal é um parâmetro que está diretamente ligado as condições da rodovia, e também em relação ao conforto ao rolamento. Nesse contexto, em pavimentos flexíveis o parâmetro IRI está diretamente relacionado ao conforto, sendo que, quanto maior o IRI menor será o conforto. Ainda em rodovias pavimentadas, Echeverria (2011) mostra que o IRI varia de 1,0 m/km, para pavimentos excelentes, até valores que ultrapassam a casa dos 4,6 m/km para pavimentos em condições péssimas. No Quadro 2 é constatado as condições de pavimentos de acordo com seus índices de irregularidade.

Quadro 2 – Condições de Superfície do Pavimento através de índices de irregularidade.

Conceito	Irregularidade	
	QI (cont./km)	IRI (m/km)
Excelente	13 - 25	1 - 1,9
Bom	25 - 35	1,9 - 2,7
Regular	35 - 45	2,7 - 3,5
Ruim	45 - 60	3,5 - 4,6
Péssimo	> 60	> 4,6

Fonte: DNIT (2006).

6 METODOLOGIA

6.1 Plano de estudo

Os métodos de pesquisa serão divididos em algumas etapas. De início será feito o estudo das bibliografias relacionadas a temática, depois o recolhimento e investigação de dados obtidos em campo, a demonstração dos resultados e, por fim a comparação entre os resultados.

Ressalta-se ainda que o equipamento proposto já foi construído, entretanto serão demonstrados nesse trabalho os processos de construção do equipamento, afim de mostrar, que o método construtivo do mesmo segue as mesmas bases indicadas por Cundill no ano de 1996.

6.2 Método

6.2.1 Escolha do local de pesquisa

O estudo será realizado em Açailândia - MA, as vias a serem utilizadas para elaboração desta pesquisa, devem seguir alguns requisitos mínimos, sendo eles:

- Estarem sob a jurisdição da prefeitura de Açailândia;
- Devem ser constituídas em pavimentação flexível;
- As vias a serem escolhidas devem possuir uma extensão maior ou igual a 430 metros.

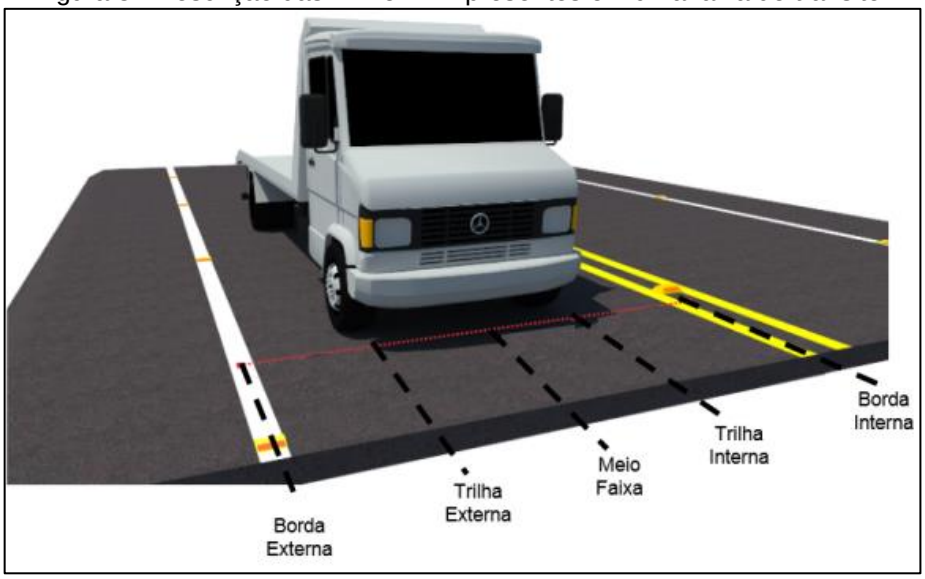
Conforme o superintendente de trânsito e transporte de Açailândia, Saulo David de Sousa Gigante, em pesquisa realizada na prefeitura de Açailândia, às principais vias de rodagem a serem analisadas no município para esse estudo são, a Avenida Alexandre Costa, Avenida Santa Luzia, Avenida Desembargador Tácito de Caldas, Avenida Dorgival Pinheiro de Souza, Avenida Bernardo Sayão, Rua Bonaire e Rua Marly Sarney.

A partir dessas informações, será feita uma análise de três vias dentre as expostas, buscando determinar a viabilidade para a execução da avaliação, e consequentemente a escolha das vias que se enquadrem no perfil estabelecido.

Foi escolhido no mínimo 1 trecho com cerca de 421 metros em cada rua selecionada pelo pesquisador, e nos casos em que a via possua mais de um trecho analisado, será adotada uma distância de transição com cerca de 500 metros, vale ressaltar que tal distanciamento teve um caráter opcional de acordo com a extensão da via.

Ainda em relação à faixa de rodagem, foram analisadas as Trilhas de Rodas Externas (TRE) da via. Sobre isso, faixas com mais de uma via possuem mais de uma Trilha de Roda (TR), devido isso, será analisada apenas as TREs presentes na faixa. Em uma faixa rodoviária é perceptível a presença de duas trilhas de roda, a TRE e a Trilha de Roda Interna (TRI), sendo suas localizações indicadas conforme a Figura 8.

Figura 8 - Descrição das TRI e TRE presentes em uma faixa de trânsito.



Fonte: Pavi et al. (2020).

6.2.2 Recolhimento e investigação de dados utilizando o MERLIN modificado

Para melhor identificação do MERLIN modificado, os autores adotaram um novo nome para esse equipamento, empregado MERLIN TEC. Esse equipamento foi constituído por perfis metálicos, uma trena Bosch GLM 50 C e um pneu de bicicleta

comum de aro 26, sendo seu processo de confecção melhor explanado no Apêndice I.

O equipamento de medição foi disponibilizado pelo laboratório de hidráulica, geotecnia e pavimentação - HIGEOPAV da UEMASUL campus Açailândia. Destacando-se ainda que além do equipamento, teve-se o auxílio de alunos colaboradores bolsistas disponíveis para ajudar na operação, além de guardas municipais para garantirem a segurança dos operadores durante o manuseio do MERLIN TEC na via. No Apêndice II encontram-se algumas imagens do equipamento montado e seus mecanismos.

6.2.2.1 Recolhimento dos dados

Antes de iniciar os procedimentos de avaliação do pavimento, deve-se determinar uma linha imaginaria que servira como referência para os indicativos de elevação e rebaixamento. Para encontrar esse parâmetro, o operador deverá utilizar o MERLIN TEC em uma superfície plana e sem imperfeições, sendo coletados 3 valores, esses serão tratados através da percepção empírica do operador, ou seja, através da réplica e treplica das medições, ele encontrara a Superfície Ideal de Projeto (SIP).

Cundill (1996) determinou que o intervalo de medição entre cada ponto deve ser o comprimento da revolução completa do pneu, o pneu do MERLIN TEC possui um diâmetro de 67 cm, sendo dessa forma o intervalo entre cada ponto de medição igual ao comprimento da circunferência de raio 33,5 cm. Sendo o valor de 210,5 cm determinado através da equação 4.

$$C = 2\pi r \quad (4)$$

Ao longo de três meses foram analisadas as irregularidades longitudinais das vias do município de Açailândia utilizando o equipamento MERLIN TEC. Em relação aos procedimentos para sua operação o mesmo seguira os do MERLIN de Cundill (1996).

O movimento do equipamento foi feito erguendo a sua parte traseira, sendo seus apoios completamente encostados na superfície a cada final de volta do pneu.

Quando encostado, o operador mediu o desvio da superfície utilizando o aplicativo da trena Bosch Measuring On, onde o mesmo irá acionar a trena.

Com os dados aferidos pela trena, eles foram automaticamente armazenados pelo aplicativo, sendo indispensável a marcação do histograma de frequência imediatamente após a medição da irregularidade longitudinal. Com isso, no momento da coleta de dados os pesquisadores tiveram uma maior agilidade com a operação do equipamento.

Utilizando a caixa de contagem elaborada por Cundill (1996) a quantidade de mensurações foi marcada no momento da coleta, e posteriormente em outra caixa de contagem os valores de desvio também foram anotados. A ordem de organização dos valores coletados será: (1,1), (2,1), (3,1), (4,1), ..., (1,8), (2,8), (3,8), ..., (9,20), (10,20).

Tendo essas informações, o valor da irregularidade longitudinal será obtido, pois tanto o valor de superfície ideal quanto os valores de desvio foram obtidos. Desta maneira, como observado na Equação 5, a Irregularidade Longitudinal em um ponto - ILp poderá ser descrita da seguinte maneira.

$$ILp(mm) = ((1,1),(2,1),\dots,(9,20),(10,20))(mm) - SIP(mm) \qquad (5)$$

Onde:

$SIP > ((1,1),(2,1),\dots,(9,20),(10,20))$, demonstra elevação do pavimento.

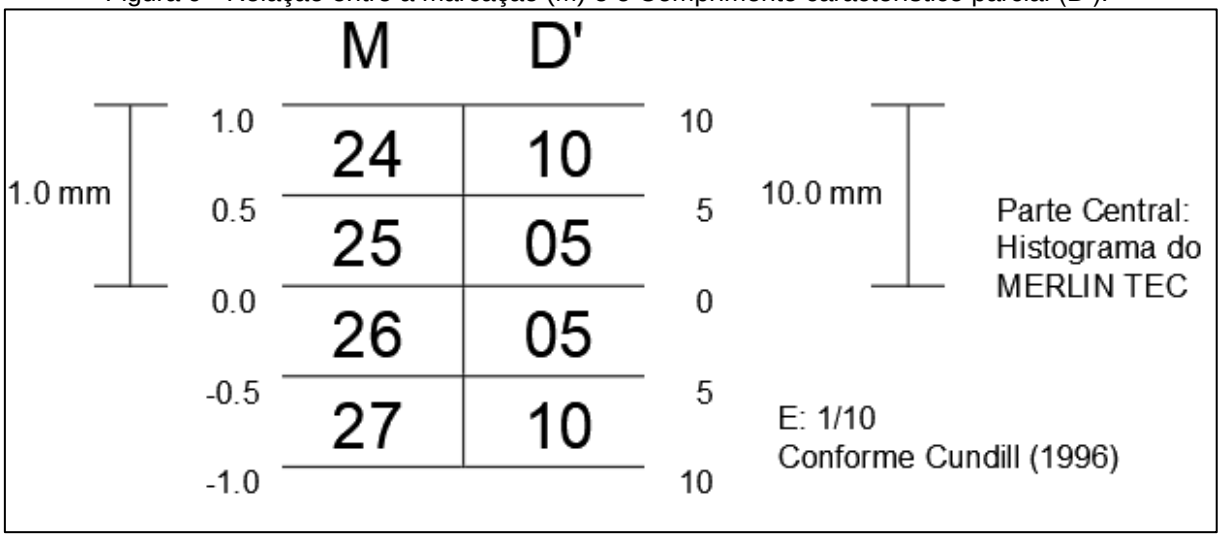
$SIP < ((1,1),(2,1),\dots,(9,20),(10,20))$, demonstra afundamento do pavimento.

Considerando um histograma baseado no de Cundill (1996) que possua 50 linhas, cuja distância a cada linha seja de 5 milímetros, o seu ponto central será o marco zero, ou seja, o intervalo de 0 a 25 indicara afundamentos e o intervalo de 26 a 50 indicara elevações, esse histograma é observado no Apêndice III. Para conseguir fazer as marcações no histograma, com os dados obtidos pelo MERLIN TEC, os autores determinaram o 25 como ponto de referência para encontrar valores compreendidos nos intervalos. Portanto, desenvolveu-se a fórmula que será constatada na equação 6, para fazer o tratamento dos dados e consequentemente obter as marcações no histograma, sendo esse parâmetro indicada por M.

$$M = 25 - ILp \qquad (6)$$

Na Figura 9 nota-se compatibilidade das medidas dos valores M em relação ao comprimento característico parcial D’, onde a soma dos valores D’ resultara no comprimento característico do histograma.

Figura 9 - Relação entre a marcação (M) e o Comprimento característico parcial (D’).



Fonte: Os autores (2022).

Depois do preenchimento dos dados no histograma o valor D foi calculado consoante a metodologia de Cundill (1996).

6.2.2.2 Investigação dos dados

Depois da avaliação funcional do pavimento escolhido, o valor “D” foi convertido para IRI e QI. Os cálculos utilizados para essa etapa foram os mesmos apresentados por Cundill (1996) e CDT (2017).

Com isso, utilizando o Quadro 2 o conceito da via pode ser encontrado, ou seja, a partir de valores pré-estabelecidos, os autores conseguiram determinar o estado da via de rodagem escolhida, conforme critérios ditos nessa pesquisa.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a aplicação da metodologia tendo em vista o objetivo proposto por esta pesquisa, foram obtidos os resultados e discussões, sendo estes apresentados neste capítulo.

Vale ressaltar que a trena que compõe o MERLIN TEC obteve medidas de irregularidades com boas precisões. Com a trena Bosch GLM 50C aferindo a distância entre ela e a superfície da via com números em milímetros possuindo duas casas decimais, foi necessário aplicar arredondamentos nos valores M, para que os mesmos fossem adequadamente marcados no histograma de frequência.

Sobre os arredondamentos, números com casas decimais acima ou iguais a (0,5) considerou-se o número inteiro imediatamente próximo ao (0,5) que o sucede, sendo para números com casas decimais menores que (0,5) o valor imediatamente próximo que o antecede. Um exemplo, é considerar o valor “M” (23,6) como sendo (24), sendo possível a sua marcação no histograma.

Foram analisadas no total 3 vias das 7 indicadas pelo superintendente de trânsito e transporte, sendo elas: a Avenida Alexandre Costa, Rua Bonaire e a Avenida Santa Luzia.

7.1 Avenida Alexandre Costa

7.1.1 Descrição e analises iniciais

A avenida Alexandre Costa é uma importante via para o município, pois é ela, que faz a ligação de bairros próximos à BR-222, promovendo também acesso ao centro da cidade. Essa avenida possui duas vias de rodagem, sendo ambas com sentido único.

Observou-se ao longo das visitas in loco a predominância de pavimentação flexível ao longo de seus totais 5200 metros de extensão. Além disso, foi perceptível a pouca presença de patologias no trecho em estudo da via, sendo observado trechos de reformas. É valido salientar, que a trechos ao longo da via com péssimas

qualidades de estado, não foram objeto de estudado, pois estão numa área afastada de ambientes com maior tráfego de veículos.

Sobre seu comprimento, a avenida possui 7,50 metros possibilitando o tráfego em duas faixas. Entretanto, uma parte de seu comprimento foi reservado para ser usado como estacionamento de veículos, o que acarretou em uma não usabilidade em decorrência dos poucos imóveis comerciais ou domésticos tangentes a pista.

Por intermédio, a faixa que foi desenvolvida como estacionamento acabou por tendo a finalidade de uma segunda faixa, gerando mais de duas Trilhas de Roda (TR). Vale ressaltar que essas TR não são perceptíveis, sendo necessário determinar tais trilhas de acordo com o tráfego de veículos.

Devido essa via possuir uma extensão mais que o suficiente para a sua análise de serventia, o pesquisador decidiu por analisar dois trechos de 421 metros em cada via, sendo este escolhido, devido sua zona de atuação ser bastante utilizada por intermédio de sua proximidade com um grande bairro de Açailândia (Vila Ildemar) e, também, um hipermercado da região (Mix Matheus).

As TR escolhidas para o estudo podem ser observadas a partir da Figura 10, onde as linhas em amarelo indicam as TR da via 1 e as linhas em vermelho indicam as TR da via 2.

Figura 10 - Trecho selecionado da Avenida Alexandre Costa e suas trilhas de roda.

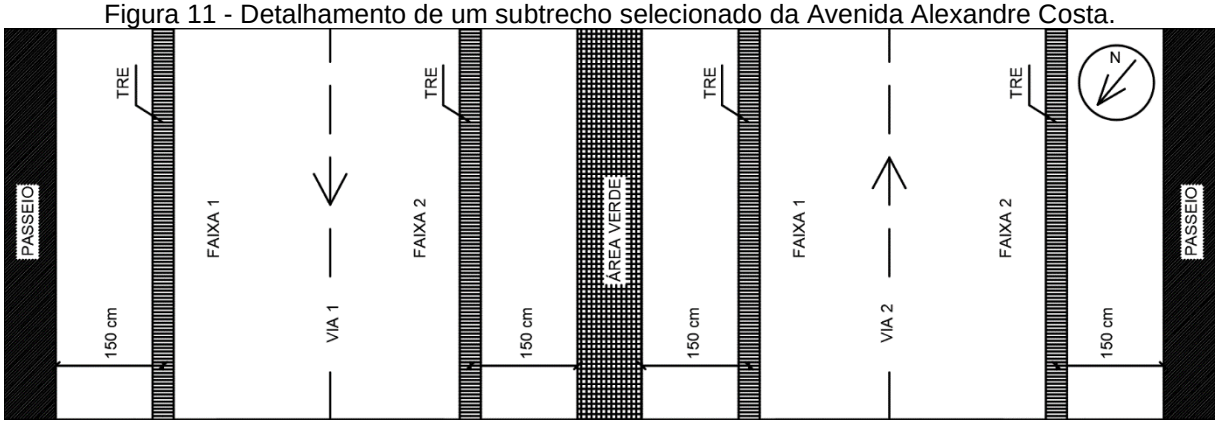
Fonte: Google Maps (2022).

Salienta-se que as trilhas de roda escolhidas foram todas as externas de cada via. Cada TRE sera nomeada de acordo com a faixa e a via que se localizam, sendo respectivamente:

- TRE - Faixa 1 - Via 1 (421 metros);
- TRE - Faixa 2 - Via 1 (421 metros);
- TRE - Faixa 1 - Via 2 (421 metros);
- TRE - Faixa 2 - Via 2 (421 metros).

Na Figura 11 é observado de forma mais detalhada, a localização de cada TRE a partir dos passeis e da área verde que delimita as vias. A distância adotada entre o centro da trilha de roda e o passeio/área verde foi de 150 cm.

Figura 11 - Detalhamento de um subtrecho selecionado da Avenida Alexandre Costa.



Fonte: Os autores (2022).

Como referência de início e fim das medições foram coletadas as coordenadas dos respectivos pontos em Universal Transversa de Mercator (UTM). As coordenadas do ponto inicial são longitude (225666.00 m E) e latitude (9452192.00 m S), já as coordenadas do ponto final são longitude (225960.00 m E) e latitude (9451865.00 m S).

7.1.2 Levantamento dos dados de Irregularidade Longitudinal utilizando o MERLIN

Antes de iniciar a coleta de dados teve-se que, primeiramente, determinar a SIP para o equipamento, e com esse valor foi possível encontrar a irregularidade longitudinal em cada ponto de parada. O valor da SIP encontrada por meio da percepção empírica do operador, ou seja, através da réplica e treplica das medições

foi de 906,00 mm. Medida essa feita no mesmo dia que foi operado o equipamento na avenida em estudo.

O levantamento dos dados da Avenida foi realizado com o equipamento MERLIN TEC seguindo as orientações de Cundill (1996) e a metodologia apresentada nesse estudo. A seguir, na Figura 12, é observada a operação do equipamento na TRE - Via 1 - Faixa 1.

Figura 12 - Operação do MERLIN TEC na Avenida Alexandre Costa.

Fonte: Os autores (2022).

Os dados coletados in loco pelo autor estão sendo devidamente apresentados no item Apêndices. Para efeito organizacional os dados estão dispostos conforme é observado no Quadro 3.

Quadro 3 - Valores M da Av. Alexandre Costa.

TR	Via	Faixa	Apêndice
TRE	1	1	IV
TRE	1	2	V
TRE	2	1	VI
TRE	2	2	VII

Fonte: Os autores (2022).

Vale ressaltar que estão sendo apresentados os valores M nesses itens, sendo necessário fazer regressões de cálculo para analisar as possíveis irregularidades longitudinais no ponto (ILp) e as possíveis distâncias do medidor do MERLIN TEC a superfície da via. Para isso, é necessário a utilização das Equações 5 e 6.

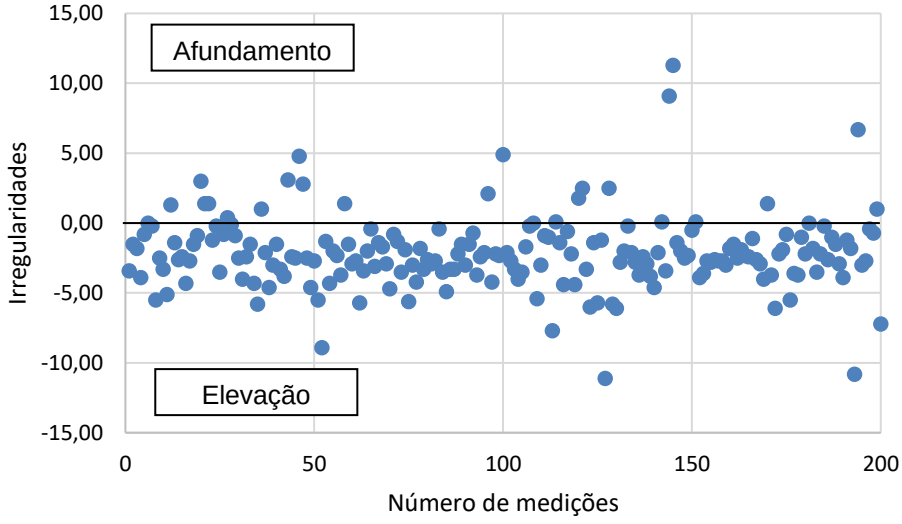
7.1.3 Investigação dos dados

Devido a Avenida Alexandre Costa possuir duas vias de rodagem, este item será dividido em duas partes, sendo uma tratando sobre a via 1 e a outra tratando sobre a via 2.

7.1.3.1 Via 1

Na Figura 13, é mostrado a dispersão dos pontos de irregularidade em relação aos números de medições para o TRE - Faixa 1 - Via 1. Onde valores de irregularidades maiores que zero indicam afundamento e menores que zero indicam elevação.

Figura 13 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).



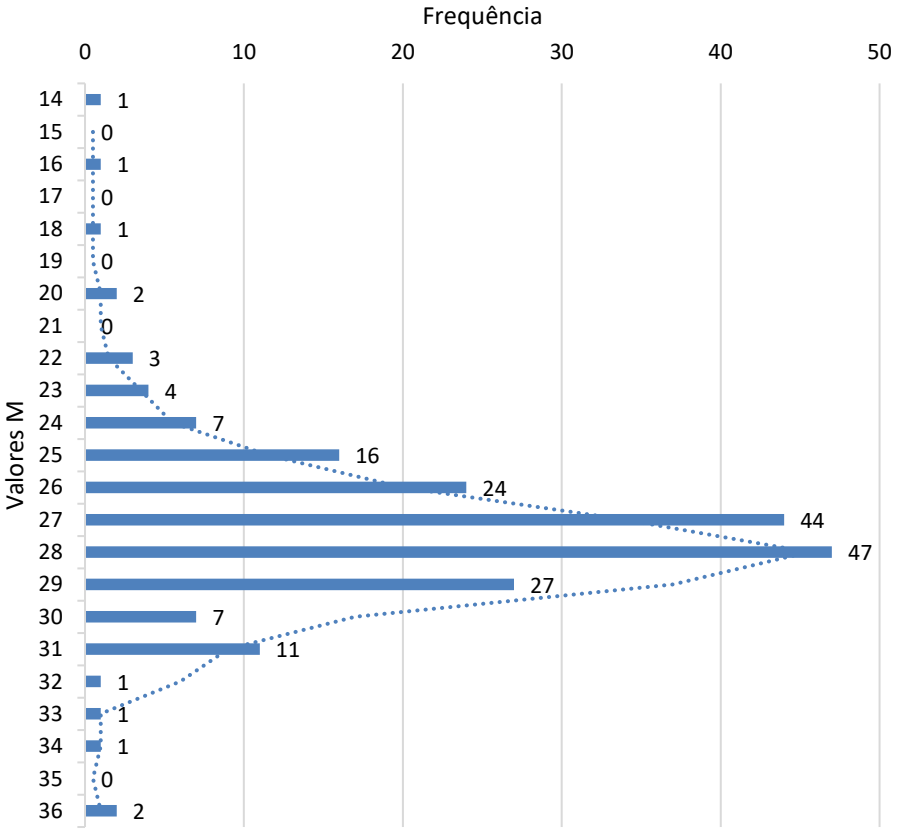
Fonte: Os autores (2022).

Através da leitura deste gráfico é notório que nessa trilha de roda é predominante irregularidades provocadas por elevações na via, correspondendo a 82,5% das medições.

O ponto máximo de elevação da Avenida foi localizado no número de medição (127), apresentando um ILp de (-11,10mm), a 267,34m da primeira medição. O ponto máximo de afundamento pode ser encontrado no ponto de medição (145), apresentando um ILp de (11,3mm), a 305,23 m da primeira medição.

Para uma melhor perspectiva, é perceptível no histograma de frequência apresentado na Figura 14 o comportamento das irregularidades ao longo do trecho escolhido. Onde, é nítido a concentração de pontos entre os valores “M” 25 e 29.

Figura 14 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).



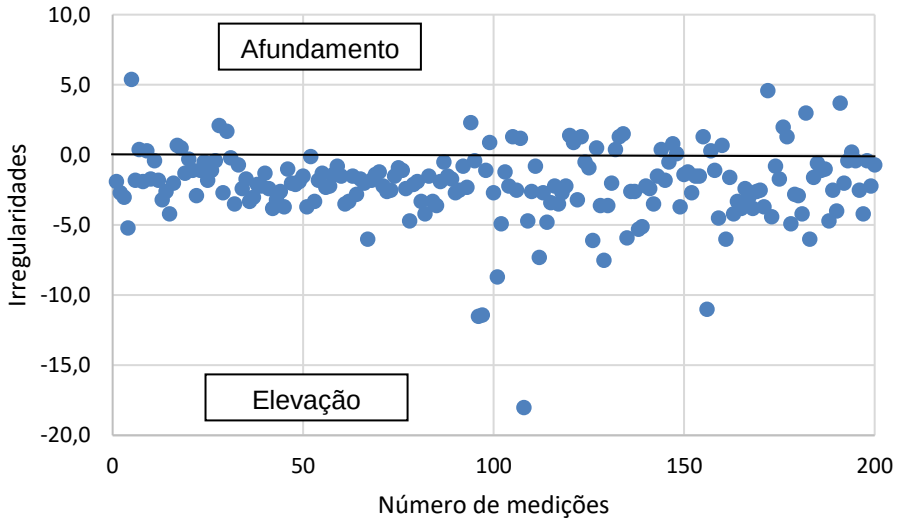
Fonte: Os autores (2022).

A linha de tendência gerada apresentou resultados relevantes sobre o comportamento da frequência de valores M, demonstrando uma certa previsibilidade. Essa linha representa a média móvel de dois períodos de valores M facilitando possíveis compreensões sobre a tendência vigente dos valores M.

Interpretando os dados obtidos através da Figura 13 e 14, é notório que a classificação da serventia dessa via será influenciada pelos defeitos oriundos da elevação.

Na figura 15, é mostrado a dispersão dos pontos de irregularidade em relação aos pontos de medições para o TRE - Faixa 2 - Via 1. Onde valores de irregularidades maiores que zero indicam afundamento e menores que zero indicam elevação.

Figura 15 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).

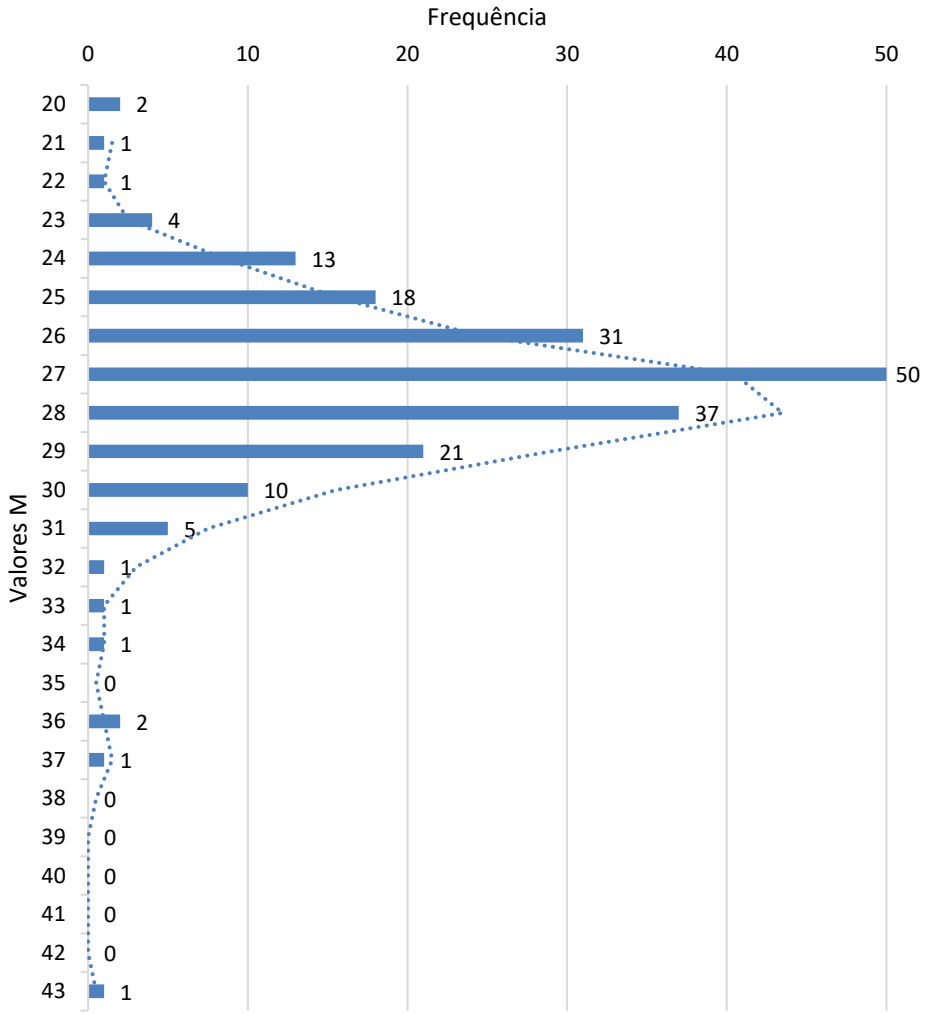


Fonte: Os autores (2022).

Ressalta-se que na outra faixa, o comportamento da Figura 15 é semelhante ao da Figura 13. Ou seja, uma maior presença de pontos de elevação, 80,5% precisamente, sendo o valor máximo de elevação encontrado no número de medição (108) apresentando um ILp de (-18mm), a (227,34m) da primeira medição. O ponto máximo de afundamento pode ser encontrado no ponto de medição (5), apresentando um ILp de (5,4mm), a (10,53m) da primeira medição.

Para uma melhor perspectiva, é perceptível no histograma de frequência apresentado na Figura 16 o comportamento das irregularidades ao longo do trecho escolhido. Onde, é nítido a concentração de pontos entre os valores “M” 24 e 29.

Figura 16 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).



Fonte: Os autores (2022).

Infere-se que no trecho em estudo na faixa 2, a pouca presença de afundamentos e uma quantidade significativa de pontos nos intervalos de irregularidade de (0) a (-5), provando uma certa estabilidade. Vale ressaltar, que pontos distanciados de forma exagerada podem ser aferidos devido patologias presente na via ou canais de escoamento de efluentes.

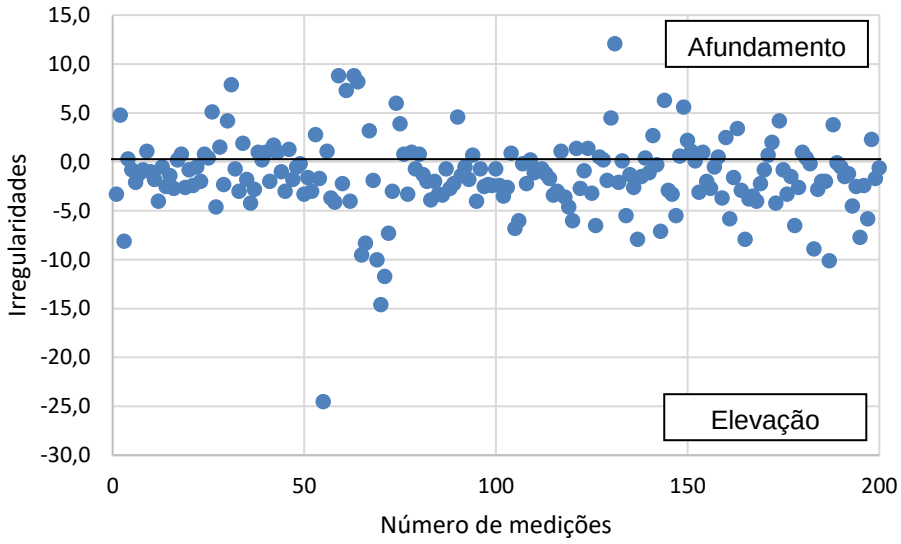
Além disso, é mostrado uma linha de tendência na Figura 16, que apresenta o comportamento dos histogramas de acordo com a média móvel de dois períodos de valores M, possuindo comportamentos previsíveis, devido à proximidade da linha de tendência com as barras.

Interpretando os dados obtidos através da Figura 15 e 16, é notório que a classificação da serventia dessa via será influenciada pelos defeitos oriundos da elevação.

7.1.3.2 Via 2

Na figura 17, é mostrado a dispersão dos pontos de irregularidade em relação aos pontos de medições para o TRE - Faixa 1 - Via 2. Onde valores de irregularidades maiores que zero indicam afundamento e menores que zero indicam elevação.

Figura 17 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).



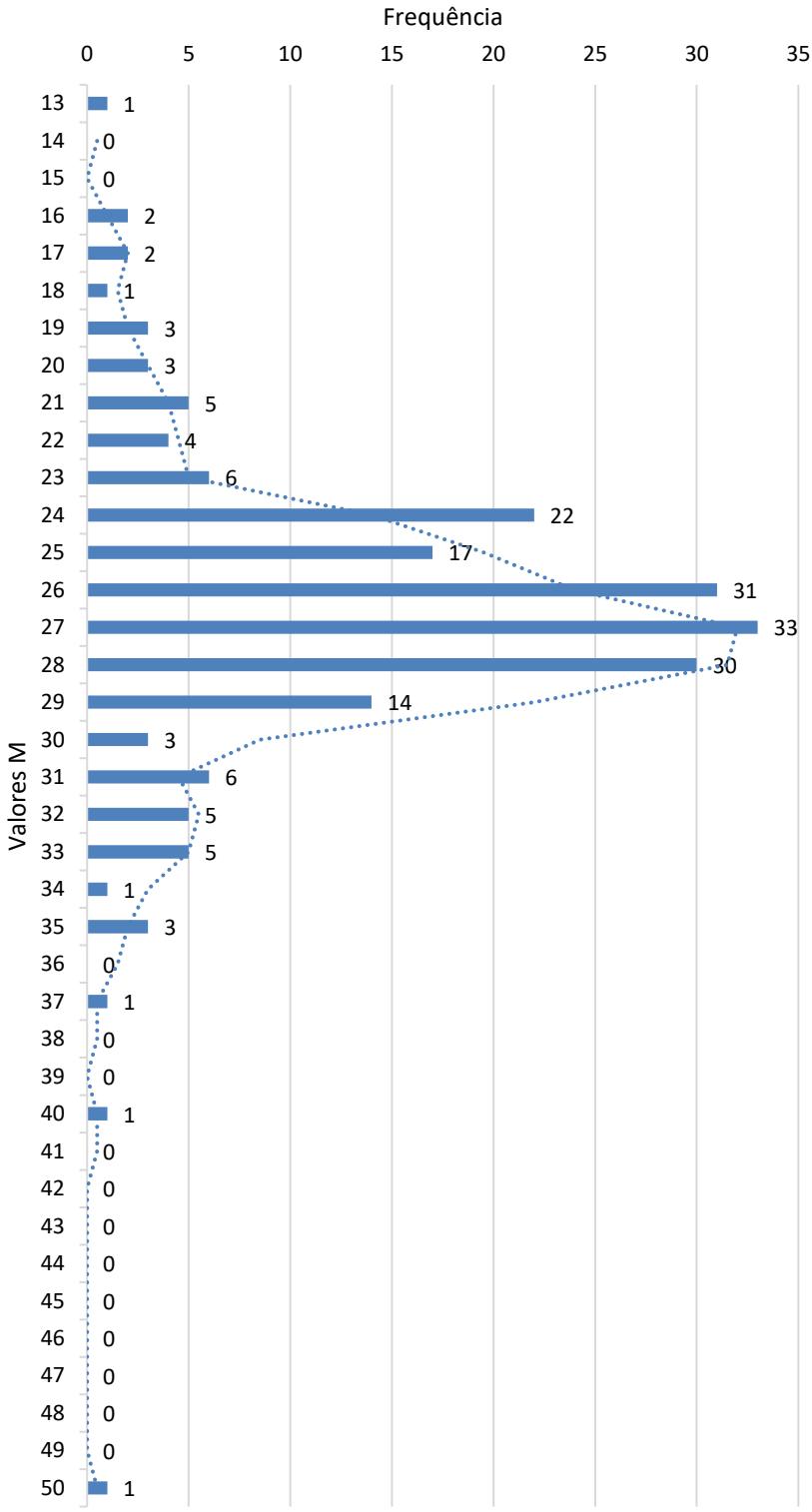
Fonte: Os autores (2022).

Através da leitura deste gráfico é notório um comportamento bipolarizado das irregularidades, sendo presente nessa trilha de roda pontos de afundamento e pontos de elevação significativos, correspondendo, respectivamente, a 33,0% e 67,0% das medições

Além disso, neste gráfico de dispersão já é notório uma grande presença de pontos de afundamento, se diferenciando do que foi observado nos gráficos 13 e 15. Além disso, a também, uma grande parcela de pontos de elevação. O valor máximo de elevação encontrado, localiza-se no número de medição (55) , apresentando um ILp de (-24,5mm), a (115,78m) da primeira medição. O ponto máximo de afundamento pode ser encontrado no ponto de medição (131), apresentando um ILp de (12,1mm).

Para uma melhor perspectiva, é perceptível no histograma de frequência apresentado na Figura 18 o comportamento das irregularidades ao longo do trecho escolhido. Onde, é nítido a concentração de pontos entre os valores “M” 24 e 29.

Figura 18 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).



Fonte: Os autores (2022).

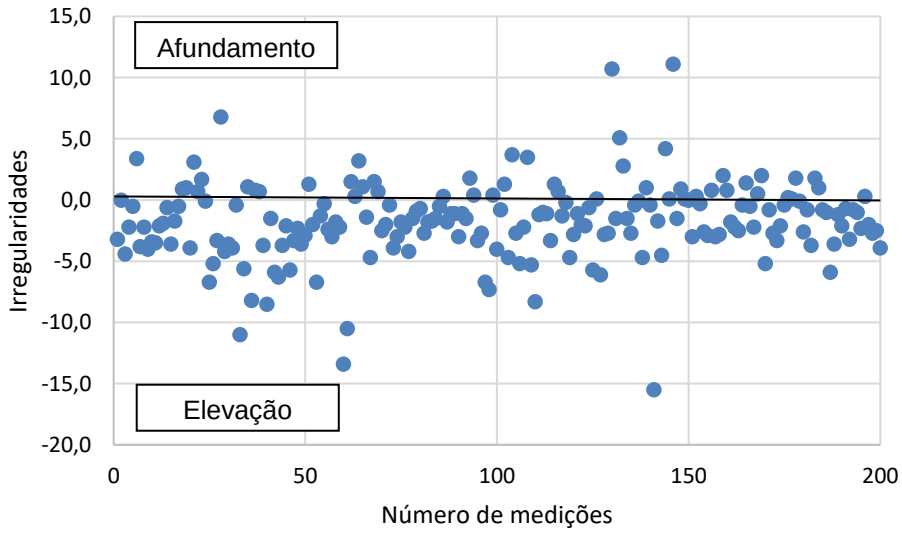
Infere-se que no trecho em estudo na faixa 1, a presença de afundamentos e elevações consideráveis, sendo esses nos intervalos de irregularidade de (5) a (-5). Vale ressaltar, que pontos distanciados de forma exagerada podem ser aferidos devido patologias presente na via ou canais de escoamento de efluentes.

Além disso, é mostrado uma linha de tendência na Figura 18, que apresenta o comportamento dos histogramas de acordo com a média móvel de dois períodos de valores M, possuindo comportamentos previsíveis, devido à proximidade da linha de tendência com as barras.

Interpretando os dados obtidos através da Figura 17 e 18, é notório que a classificação da serventia dessa via será influenciada pelos defeitos oriundos da elevação e do afundamento.

Em relação a faixa 2 presente na via 2 da Av. Alexandre Costa, na figura 19, é mostrado a dispersão dos pontos de irregularidade em relação aos pontos de medições para o TRE - Faixa 2 - Via 2. Onde valores de irregularidades maiores que zero indicam afundamento e menores que zero indicam elevação.

Figura 19 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).

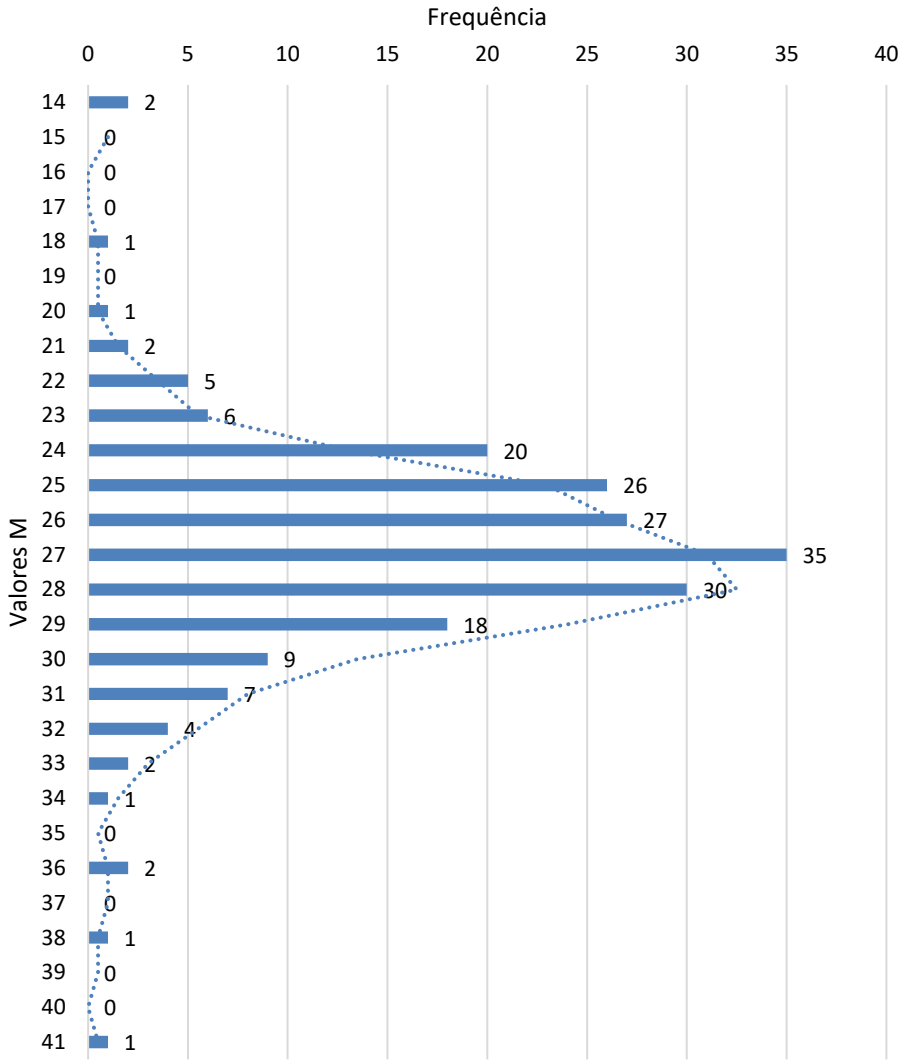


Fonte: Os autores (2022).

Observa-se que as dispersões de pontos do gráfico 19 tendem a se afastar do centro, possuindo números consideráveis de pontos de afundamento e elevação, respectivamente, 31,5% e 68,5%. O valor máximo de elevação encontra-se no número de medição (141), possuindo um ILp de (-15,5mm). Já o valor máximo de afundamento é localizado no número de medição (146), possuindo um ILp de (11,1mm).

Possivelmente, é perceptível tal comportamento no histograma de frequência apresentado na figura 20. Onde, é nítido a concentração de pontos entre os valores “M” 24 e 29.

Figura 20 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).



Fonte: Os autores (2022).

Infere-se que no trecho em estudo na faixa 2, a pouca presença de afundamentos em relação a quantidade de elevações. Entretanto, esses valores de afundamento representam uma boa quantidade quando comparados de forma separada. Considerando esses fatos, tem-se uma quantidade significativa de pontos nos intervalos de irregularidade de (5) a (-5).

Além disso, é mostrado uma linha de tendência na Figura 20, mostrando o comportamento dos histogramas de acordo com a média móvel de dois períodos de

valores M, possuindo comportamentos previsíveis, devido à proximidade da linha de tendência com as barras.

Interpretando os dados obtidos através da Figura 19 e 20, é notório que a classificação da serventia dessa via será influenciada pelos defeitos oriundos da elevação e do afundamento.

7.1.4 Determinação do IRI, QI e conceito da via

Com os dados sendo tratados para valores M, tem-se a sua utilização para determinação do comprimento característico (D) através do histograma de frequência. Todos os histogramas de frequências desenvolvidos para a Avenida Alexandre Costa estão presentes nos Apêndices IV, V, VI e VII. Na Tabela 1, é observado os valores de D, IRI e QI para cada TRE analisado.

Tabela 1 - Valores de D, IRI e QI obtidos na Avenida Alexandre Costa.

Faixa	Via	D (mm)	IRI (mm/m)	QI (cont./m)
1	1	40,23	2,49	32,37
2	1	36,23	2,30	29,90
1	2	65,33	3,67	47,71
2	2	47,25	2,82	36,66

Fonte: Os autores (2022).

Utilizando a bibliografia, é possível determinar os conceitos de serventia de todos os TREs estudados, sendo eles mostrados por meio do Quadro 4. Vale ressaltar que Sayers e Karamihas (1998), em seus estudos sobre o IRI, determinaram velocidades apropriadas de acordo com a situação da via, sendo esses estudos considerados para determinar a velocidade de tráfego da Avenida Alexandre Costa, sendo observado, também, no Quadro 4.

Quadro 4 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego na Avenida Alexandre Costa.

Identificação	**Conceito (DNIT, 2006)**	**Conceito do pavimento (Sayers e Karamihas, 1998)**	**Velocidade (km/h) (Sayers e Karamihas, 1998)**
TRE- Faixa 1 - Via 1	Bom	Novo	100
TRE- Faixa 2 - Via 1	Bom	Novo	100
TRE- Faixa 1 - Via 2	Ruim	(Antigo) (Não pavimentado)	100
TRE - Faixa 2 - Via 2	Regular	(Novo) (Antigo)	100

Fonte: Os autores (2022).

Com os dados apresentados sobre a avenida Alexandre Costa, infere-se que a mesma possui níveis de serventias com um grau de adequabilidade para uso bastante satisfatório. Mesmo o TRE - Faixa 1 - Via 2 apresentando imperfeições superficiais que o classifica como ruim (DNIT,2006) e antigo e não pavimentado (Sayers e Karamihas, 1998), o mesmo apresentou uma velocidade de tráfego similar as demais faixas da avenida.

Vale ressaltar, que esse estudo proporcionou verificar o tempo de operação do MERLIN TEC ao longo dos 200 pontos necessários para elaboração do histograma de frequência (Cundill, 1996). Esses dados só foram obtidos devido a presença da trena Bosch GLM 50 C, onde a mesma armazena os dados de medição de acordo com a hora do dia. É observado na Tabela 2 a velocidade média de operação do MERLIN TEC e o tempo necessário para a sua operação.

Tabela 2 - Dados obtidos através da trena Bosch GLM 50C na operação do MERLIN TEC na Av. Alexandre Costa

Faixa	Via	V (pontos/min)	V (km/h)	S (km)	t (h)	t '(h)
1	1	7,41	0,936	0,421	0,394	0,000
2	1	8,33	1,052	0,421	0,443	0,317
1	2	8,00	1,010	0,421	0,425	0,050
2	2	8,00	1,010	0,421	0,425	0,083

Legenda: V (velocidade), S (distância percorrida), t (tempo de operação), t' (tempo de descanso).
Fonte: Os autores (2022).

7.2 Rua Bonaire

7.2.1 Descrição e analises iniciais

Localizada na parte central da cidade de Açailândia - MA, a rua Bonaire é uma via que faz cruzamentos com outras vias que foram indicadas pelo superintendente de trânsito. Essas vias de rodagem são, a Dorgival Pinheiro de Sousa e a Avenida Desembargador Tácito de Caldas. Vale ressaltar, que a rua Bonaire compreende a área de atuação de alguns serviços primordiais a cidade, sendo um deles, o terminal rodoviário de Açailândia.

Essa rua possui duas faixas de rodagem, sendo ambas com sentido único. Entretanto, em horários de maior atuação de veículos, uma parcela do trecho em estudo é preenchida por veículos estacionados nas duas laterais da via, formando assim uma única faixa de trânsito na parte central da rua Bonaire. Por intermédio, foi adotada uma trilha de roda na área não ocupada por esses veículos, sendo adotada de acordo com a frequência de pneus em contato com a superfície da via.

Sobre o tipo de pavimentação, a rua Bonaire apresenta pavimentação flexível, subdividida em duas categorias de revestimento, sendo um revestimento em intertravados de concreto e o outro em asfalto. Ressaltasse que o revestimento asfáltico analisado é inferior ao de intertravados, sendo considerado para efeito de análise e para cálculo toda a via como sendo de intertravados.

Na Figura 21 é observado o operador selecionando a trilha de roda de acordo com a adotada devido as condições de tráfego e de utilização das partes extremas da via. Ressalva-se que a parte que se encontra com veículos estacionados é a via com revestimento em intertravados de concreto.

Figura 21 – Pavimentação flexível com revestimento de asfalto na Rua Bonaire.

Fonte: Os autores (2022).

Ao longo de seus totais 706 metros de extensão, foi utilizado um trecho de 421m para coleta de dados, sendo este escolhido de acordo com observações feitas ao longo de 4 dias, além de sua proximidade com serviços bastante utilizados pela população local.

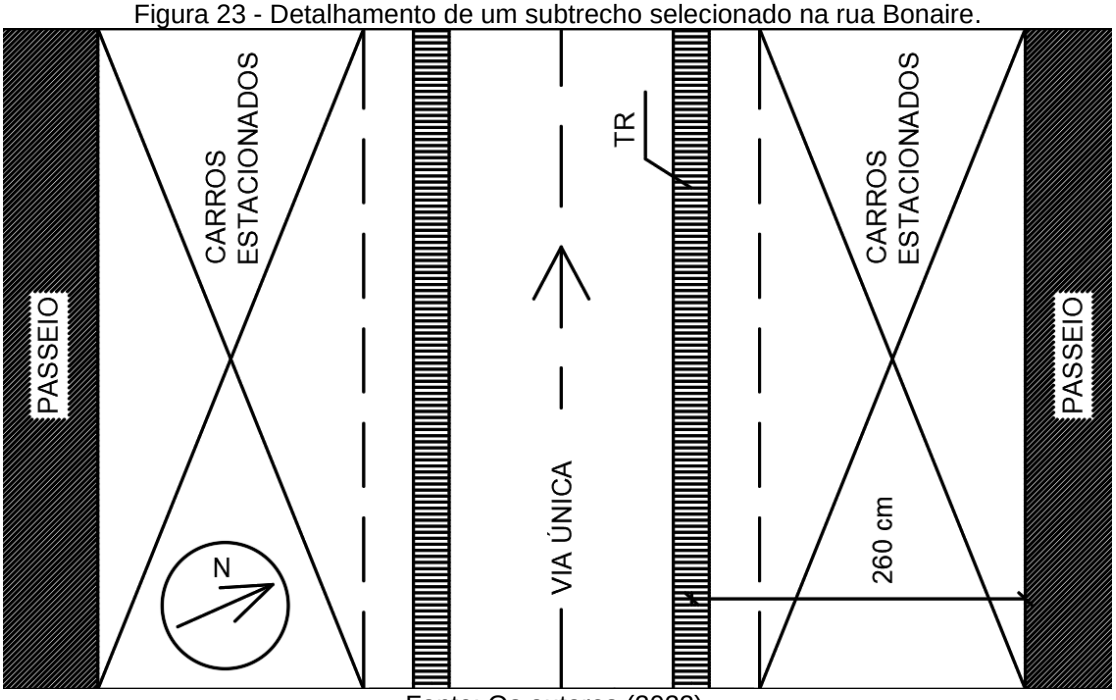
Devido possuir uma extensão pequena, foi possível analisar apenas um trecho da via. Outrossim, esse fator, não é desfavorável, pois a análise pode ser refletida para toda a rua. A TR escolhida para o estudo pode ser observada a partir da Figura 22, representada pela linha em amarelo. É possível observar na figura o terminal rodoviário de Açailândia, mais precisamente na quarta quadra, da direita para a esquerda.

Figura 22 - Trecho selecionado na Rua Bonaire e sua Trilha de Roda.

Fonte: Google Maps (2022).

Na Figura 23 é observado de forma mais detalhada, a localização da TR a partir dos passeios que delimitam a via. A distância adotada entre o centro da trilha de roda e o passeio foi de 260 cm. Sendo a TR adotada a que se localiza a direita da figura, tal escolha foi feita, uma vez que havia mais deformações ao longo dessa trilha de roda.

Figura 23 - Detalhamento de um subtrecho selecionado na rua Bonaire.



Fonte: Os autores (2022).

Como referência para inicio e fim da operação com o MERLIN TEC foram adotadas coordenadas retiradas a partir do Google Earth. Sendo elas, as coordenadas longitude (223105.00 m E) e latitude (9451978.00 m S) para o ponto inicial, e as coordenadas longitude (222757.00 m E) e latitude (9452219.00 m S) para o ponto final.

Em relação aos limites entre pavimentação com intertravados e com asfalto, a última medida realizada no pavimento que possuia intertravados foi a de numero 141, tendo uma extensão de 296 m. As coordenadas de transição, ou seja, onde foi concluido a operação no pavimento com intertravados, foi de longitude (222868.00 m E) e latitude (9452140.00 m S).

7.2.2 Levantamento dos dados de Irregularidade Longitudinal utilizando o MERLIN

O valor da SIP encontrada por meio da percepção empírica do operador utilizando o MERLIN TEC, foi de 906,00 mm. Medida essa feita no mesmo dia que foi operado o equipamento na rua em estudo.

O levantamento dos dados da rua foi realizado com o equipamento MERLIN TEC seguindo as orientações de Cundill (1996) e a metodologia apresentada nesse estudo.

Os dados coletados in loco pelos autores estão sendo devidamente apresentados no item Apêndices. Para efeito organizacional os dados estão dispostos conforme é observado na Quadra 5.

Quadro 5 - Valores M da Rua Bonaire.

TR	**Faixa**	**Via**	**Apêndice**
TR	Única	Única	VIII

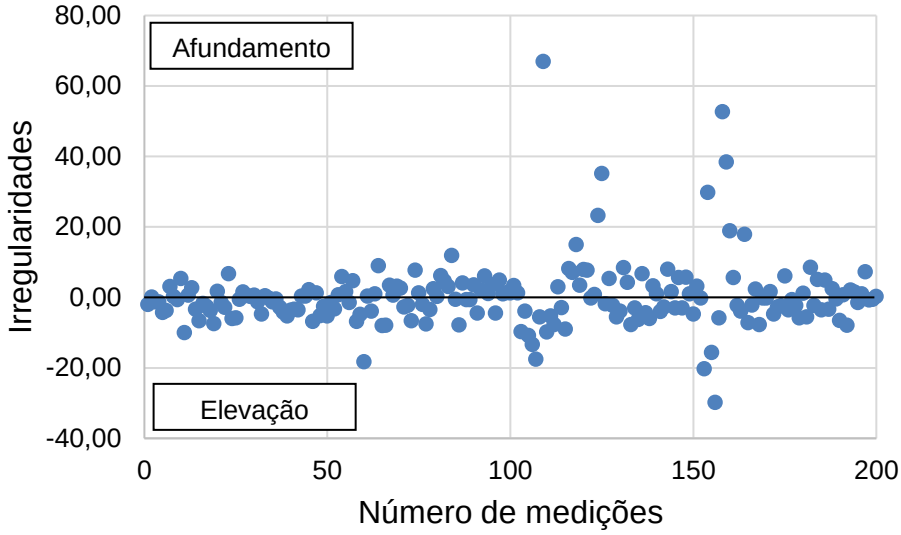
Fonte: Os autores (2022).

Vale ressaltar que estão sendo apresentados os valores M nesses itens, sendo necessário fazer regressões de cálculo para analisar as possíveis irregularidades longitudinais no ponto (ILp) e as possíveis distâncias do medidor do MERLIN TEC a superfície da via. Para isso, é necessário a utilização das equações 5 e 6.

7.2.3 Investigação dos dados

Antes da determinação da serventia do trecho em análise, optou-se por fazer um estudo sobre as irregularidades longitudinais presentes ao longo da trilha de roda. Na figura abaixo é apresentado a dispersão dos pontos de irregularidade em relação aos números de medições. Outrossim, a Figura 24 apresenta a quantidade de medidas de afundamento e de elevação. Onde valores de irregularidades maiores que zero indicam afundamento e menores que zero indicam elevação.

Figura 24 - Gráfico de dispersão da TR na Rua Bonaire.



Fonte: Os autores (2022).

Observando o gráfico acima, nota-se uma diferença de intervalos em relação aos demais gráficos de dispersões mostrados no decorrer do trabalho. Nesse caso, o intervalo de irregularidades presentes ao longo de 200 medições varia de (-29,8) a (67). Isso demonstra a presença de elevações ou afundamentos bastante incomuns. Podendo ser ocasionadas por grandes deformações na via ou modificações feitas pela própria prefeitura.

Na Figura 25 é visto deformações ocasionadas pela infiltração da água em concordância com o tráfego de veículos na rua, além de um canal de escoamento de efluentes. Tais fatores foram os provocadores desse comportamento, provocando instabilidades nas irregularidades medidas.

Figura 25 - Canal de escoamento de efluentes e deformações de afundamento na Rua Bonaire.

Fonte: Os autores (2022).

Na figura 26 é observado um ponto de elevação que também provocou essa instabilidade nos valores coletados.

Figura 26 - Passarela de concreto construída sobre a Rua Bonaire.

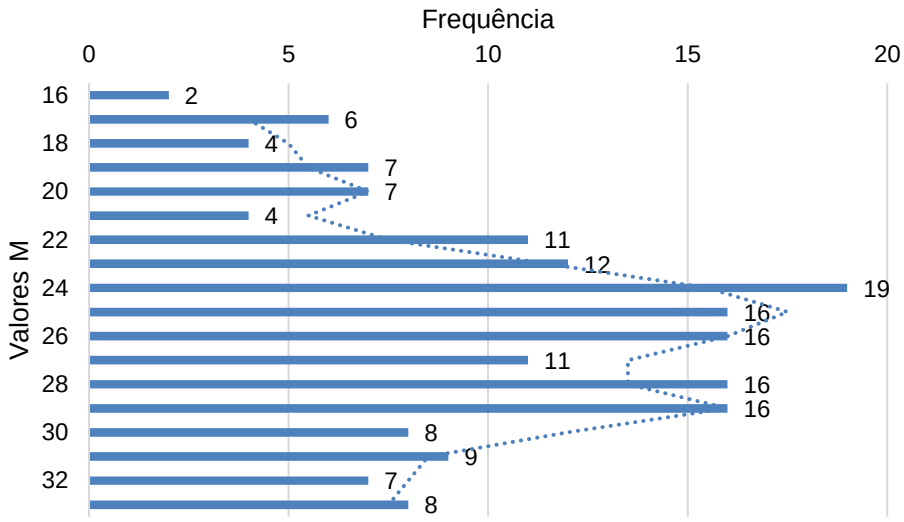
Fonte: Os autores (2022).

Ainda em relação ao gráfico apresentado na figura 24, cerca de 51% dos dados coletados apresentaram um comportamento para elevação, enquanto o restante da porcentagem apresentou afundamento. Desse modo, mesmo com tal proximidade entre as medidas, o pavimento será caracterizado com um conceito problemático, uma vez que as instabilidades provocadas por esses patógenos

afetarão na seleção dos valores para determinação do comprimento característico do histograma de frequência.

Salienta-se que devido esse intervalo de valores de irregularidades ser considerável, a Figura 27 expõem apenas os valores considerados para o cálculo do “D”.

Figura 27 - Histograma de frequência da TR na Rua Bonaire.



Fonte: Os autores (2022).

A linha de tendência apresentada no gráfico a cima demonstra uma certa instabilidade, se diferenciando das outras, não possuindo um padrão. Através disso, infere-se esse comportamento demonstra várias irregularidades de diferentes tamanhos ao longo da TR, sendo esses valores concentrados em um intervalo de valores M que vai do 22 ao 28.

Interpretando os dados obtidos através da Figura 24 e 27, é notório que a classificação da serventia dessa via será influenciada pelos defeitos oriundos da elevação e do afundamento.

7.2.4 Determinação do IRI, QI e conceito da via

Com os dados sendo tratados para valores M, tem-se a sua utilização para determinação do comprimento característico (D) através do histograma de frequência. O histograma de frequência desenvolvido para a Rua Bonaire está presente no Apêndice VIII. Na Tabela 3, é observado os valores de D, IRI e QI para a TR analisada.

Tabela 3 - Valores de D, IRI e QI obtidos na Rua Bonaire.

Via	Faixa	D (mm)	IRI (mm/m)	QI (cont./m)
Única	Única	95,00	5,07	65,91

Fonte: Os autores (2022).

Utilizando a bibliografia, é possível determinar os conceitos de serventia da TR, sendo eles mostrados por meio do Quadro 6. Vale ressaltar que Sayers e Karamihas (1998), em seus estudos sobre o IRI, determinaram velocidades apropriadas de acordo com a situação da via, sendo esses estudos considerados para determinar a velocidade de tráfego da Rua Bonaire, sendo observado, também, no Quadro 6.

Quadro 6 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego da Rua Bonaire.

Identificação	**Conceito (DNIT, 2006)**	**Conceito do pavimento (Sayers e Karamihas, 1998)**	**Velocidade (km/h) (Sayers e Karamihas, 1998)**
TR	Péssimo	(Antigo) (Não pavimentado) (Deteriorado)	80

Fonte: Os autores (2022).

Com os dados apresentados sobre a Rua Bonaire, infere-se que a mesma possui níveis de serventias não satisfatórios. Como o conceito de Sayers e Karamihas, (1998) classificou essa faixa como sendo constituída de pavimentação deteriorada, além do autor através de identificação visual confirmar tal argumento, é observável a utilização da escala 1:5 para determinar novos valores de IRI e QI (Cundill, 1996).

Sendo assim, os novos valores de irregularidade, além do D serão vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores corrigidos de D, IRI e QI obtidos na Rua Bonaire.

Via	Faixa	D (mm)	IRI (mm/m)	QI (cont./m)
Única	Única	47,50	2,83	36,79

Fonte: Os autores (2022).

Os conceitos e a velocidade de uso, também serão corrigidos, sendo esses valores mostrados no Quadro 7.

Quadro 7 - Níveis corrigidos de serventia e velocidade de tráfego da Rua Bonaire.

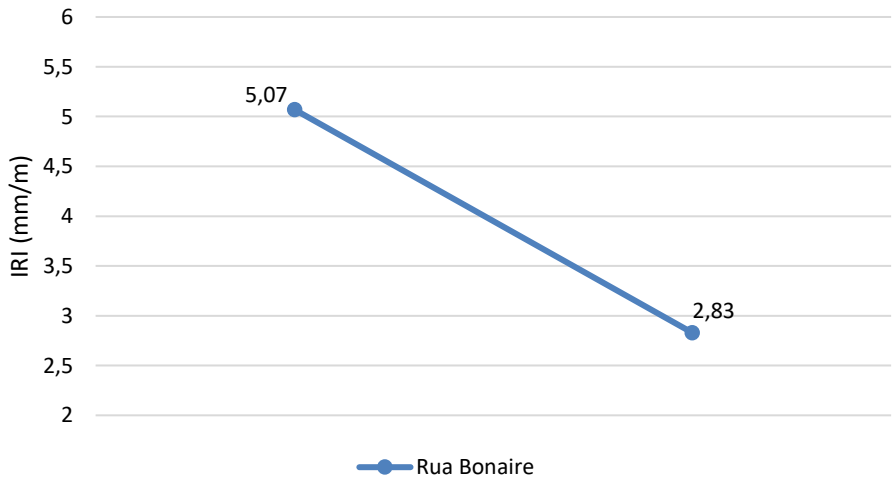
Identificação	Conceito (DNIT, 2006)	Conceito do pavimento (Sayers e Karamihas, 1998)	Velocidade (km/h) (Sayers e Karamihas, 1998)
TR	Regular	(Novo) (Antigo)	100

Fonte: Os autores (2022).

É valido ressaltar que os trechos de cruzamento com outras ruas são os mais afetados, podendo assim, inferir que a Rua Bonaire possui um nível de serventia regular ao longo de seu trecho desconsiderando a interferência dos cruzamentos.

Fazendo uma comparação entre os valores de IRI corrigido e sem a correção, relação essa apresentada na Figura 28, é notório que Cundill (1996) quando elaborou o fator de correção para o histograma de frequência, considerou a influência de deteriorações ao longo do pavimento. Mesmo essas deteriorações sendo um problema, patologias em estradas são comuns, e quando presentes de forma instável no histograma de frequência, deve-se fazer as medidas necessárias. Utilizando a escala de 1:5 no histograma, é possível minorar os índices de irregularidade, conseguindo uma serventia mais adequada para vias que possuem deformações exageradas em poucos pontos de medida.

Figura 28 – Decrecimo do IRI com escala 1:10 em relação ao IRI com escala 1:5



Fonte: Os autores (2022).

É observado na Tabela 5 a velocidade média de operação do MERLIN TEC e o tempo necessário para a sua operação.

Tabela 5 - Dados obtidos através da trena Bosch GLM 50C na operação do MERLIN TEC na Rua Bonaire.

Via	Faixa	V (pontos/min)	V (km/h)	S (km)	t (h)	t '(h)
Única	Única	6,67	0,842	0,421	0,354	0,100

Legenda: V (velocidade), S (distância percorrida), t (tempo de operação), t' (tempo de descanso).
Fonte: Os autores (2022).

7.3 Avenida Santa Luzia

7.3.1 Descrição e analises iniciais

A Avenida Santa Luzia, como a Rua Bonaire, também possui uma área de influência sobre as vias indicadas pelo superintendente de trânsito, sendo essas a Avenida Desembargador Tácito de Caldas, a Avenida Dorgival Pinheiro de Souza e a Avenida Bernardo Sayão. Sendo assim, um importante corredor para a economia da cidade, pois também possibilita a entrada ao centro, além de estar muito próxima de uma rodovia federal, a BR 222.

Essa Avenida possui duas faixas de rodagem, sendo ambas com sentido único. Sobre o tipo de pavimentação, a Avenida Santa Luzia apresenta em toda a sua extensão pavimentação flexível com revestimento asfáltico.

Ao longo de seus totais 618 metros de extensão, foi utilizado um trecho de 421m para coleta de dados, sendo este escolhido de acordo com observações feitas ao longo de 4 dias, além de sua proximidade com serviços bastante utilizados pela população local.

É valido salientar que a avenida em estudo possui uma extensão ínfima em comparação com a Alexandre Costa, possuindo assim, com apenas uma análise, a capacidade elevada de determinar o conceito generalizado da via através do MERLIN TEC.

Na Figura 29 é observado as trilhas de rodas consideradas para a avaliação da avenida em um mapa gerado através do Google Earth. Sendo escolhidas 2 TR conforme a metodologia e conforme o tráfego de veículos na via. A linha em verde claro indica a TRE da faixa 2, enquanto a linha em vermelho indica a TRE da faixa 1. Além disso, é possível observar na figura, a proximidade da Avenida Santa Luzia com

a BR 222 e a BR 010, além de sua proximidade com vias de acesso ao centro da cidade.

Figura 29 - Trecho selecionado na Avenida Santa Luzia e suas trilhas de roda.

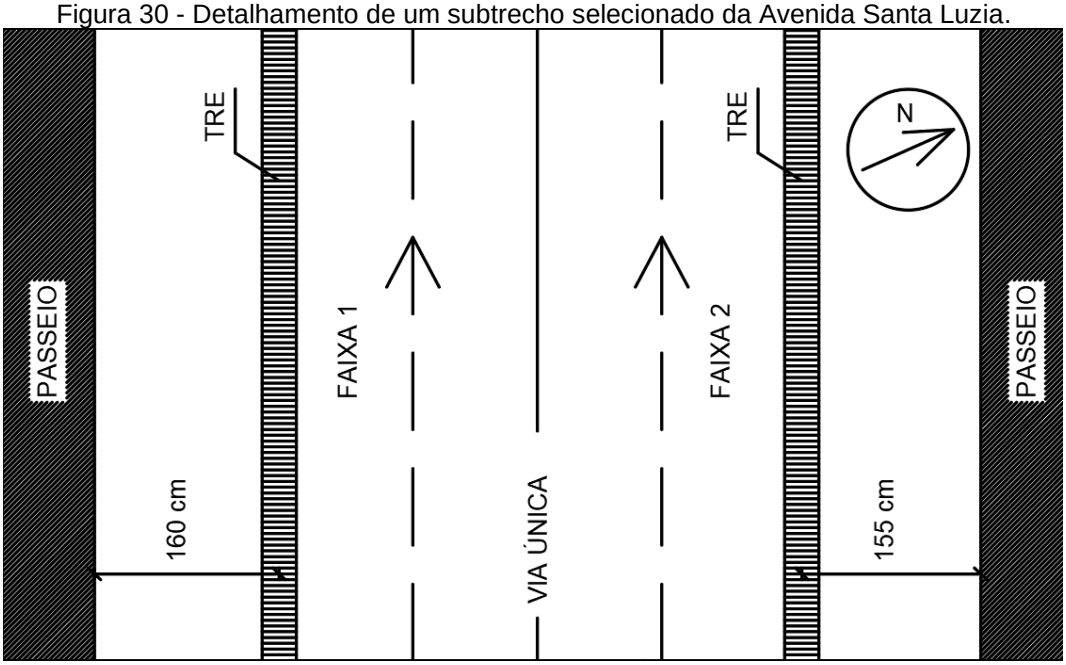
Fonte: Google Maps (2022).

Salienta-se que as trilhas de roda escolhidos foram todos as externos de cada via. Cada TRE sera nomeada de acordo com a faixa e a via que se localiza, sendo respectivamente:

- TRE - Faixa 1 - Via 1 (421 metros);
- TRE - Faixa 2 - Via 1 (421 metros).

Na Figura 30 é visto de forma mais detalhada, a localização das TR a partir dos passeis que delimitam as vias. A distância adotada entre o centro da trilha de roda e o passeio foi de 155 cm para a TRE - Faixa 2, e para o TRE - Faixa 1 adotou-se 160 cm. Sendo as TR adotadas escolhidas devido a presença de deformações ao longo dessa trilha.

Figura 30 - Detalhamento de um subtrecho selecionado da Avenida Santa Luzia.



Fonte: Os autores (2022).

Como referência para inicio e fim da operação com o MERLIN TEC foram adotadas coordenadas retiradas a partir do google earth. Sendo elas, as coordenadas longitude (222991.00 m E) e latitude (9451720.00 m S) para o ponto inicial, e as coordenadas longitude (222405.00 m E) e latitude (9451907.00 m S) para o ponto final.

7.3.2 Levantamento dos dados de Irregularidade Longitudinal utilizando o MERLIN

O valor da SIP encontrada por meio da percepção empírica do operador foi de 906,00 mm, medida essa feita no mesmo dia que foi operado o equipamento na avenida em estudo.

Os levantamentos dos dados da avenida foram realizados com o equipamento MERLIN TEC seguindo as orientações de Cundill (1996) e a metodologia apresentada nesse estudo.

Na Figura 31 é observado o operador do MERLIN TEC utilizando tal equipamento na via em estudo. É perceptível a presença dos cones de sinalização, aparatos utilizados para garantir mais segurança para os operadores do equipamento de medição de irregularidade.

Figura 31 - Operação do MERLIN TEC na Avenida Santa Luzia.

Fonte: Os autores (2022).

Os dados coletados in loco pelos autores estão sendo devidamente apresentados no item Apêndices, para efeito organizacional os dados estão dispostos conforme é observado no Quadro 8.

Quadro 8 - Valores M da Avenida Santa Luzia.

TR	Via	Faixa	Apêndice
TRE	Única	1	IX
TRE	Única	2	X

Fonte: Os autores (2022).

Vale ressaltar que estão sendo apresentados os valores M nesses itens, sendo necessário fazer regressões de cálculo para analisar as possíveis irregularidades longitudinais no ponto (ILp) e as possíveis distâncias do medidor do MERLIN TEC a superfície da via. Para isso, é necessário a utilização das equações 5 e 6.

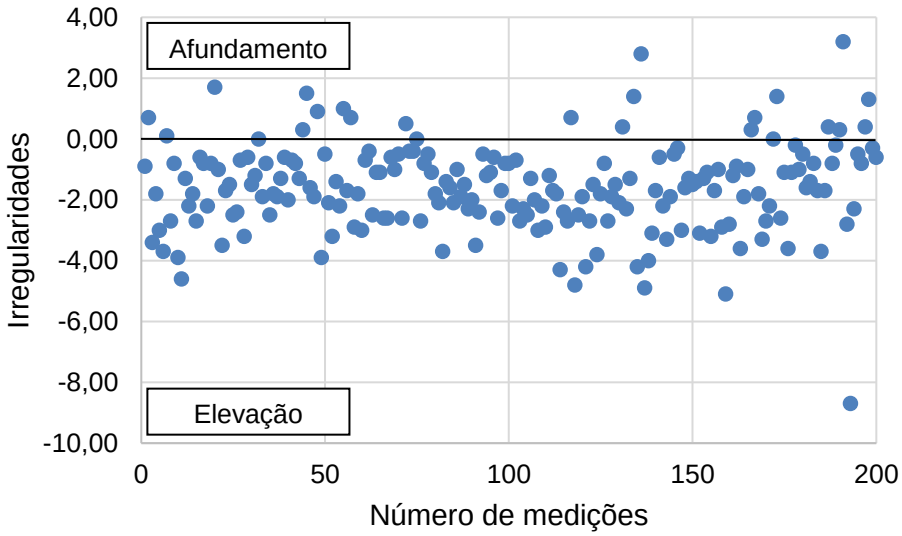
7.3.3 Investigação dos dados

Devido a Avenida Santa Luzia possuir duas faixas de rodagem, este item será dividido em duas partes, sendo uma tratando sobre a faixa 1 e a outra tratando sobre a faixa 2.

7.3.3.1 Faixa 1

Na Figura 32, é mostrado a dispersão dos pontos de irregularidade em relação aos números de medições para o TRE - Faixa 1. Onde valores de irregularidades maiores que zero indicam afundamento e menores que zero indicam elevação.

Figura 32 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 1 (Avenida Santa Luzia).



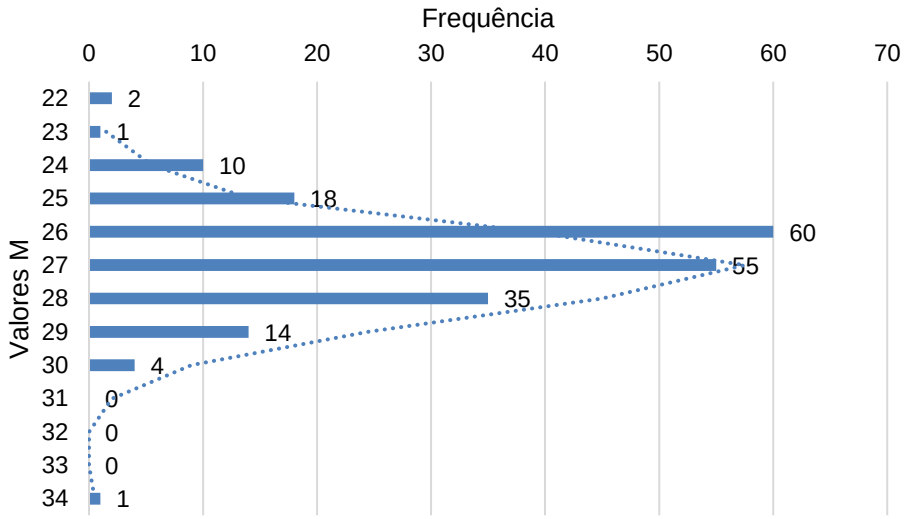
Fonte: Os autores (2022).

Através da leitura deste gráfico é notório que nessa trilha de roda é predominante irregularidades provocadas por elevações na via, correspondendo a 84,5% das medições, um possível fator de causa seria revestimentos de recuperação da via, como possíveis reformas. Vale ressaltar, também, que há pontos de afundamento, sendo possíveis agentes causadores panelas e a própria patologia afundamento por consolidação.

O ponto máximo de elevação da Avenida foi localizado no número de medição (193), apresentando um ILp de (-8,70mm), a (406,27m) da primeira medição. O ponto máximo de afundamento pode ser encontrado no ponto de medição (191), apresentando um ILp de (3,20mm), a (402,06m) da primeira medição.

Para uma melhor perspectiva, é perceptível no histograma de frequência apresentado na Figura 33 o comportamento das irregularidades ao longo do trecho escolhido. Onde, é nítido a concentração de pontos entre os valores “M” 25 e 29.

Figura 33 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 (Avenida Santa Luzia).



Fonte: Os autores (2022).

Infere-se que no trecho em estudo na faixa 1, a pouca presença de afundamentos em relação a quantidade de elevações. Considerando esses fatos, tem-se uma quantidade significativa de pontos nos intervalos de irregularidade de (0) a (-4), provando, uma certa estabilidade nos pontos de elevação.

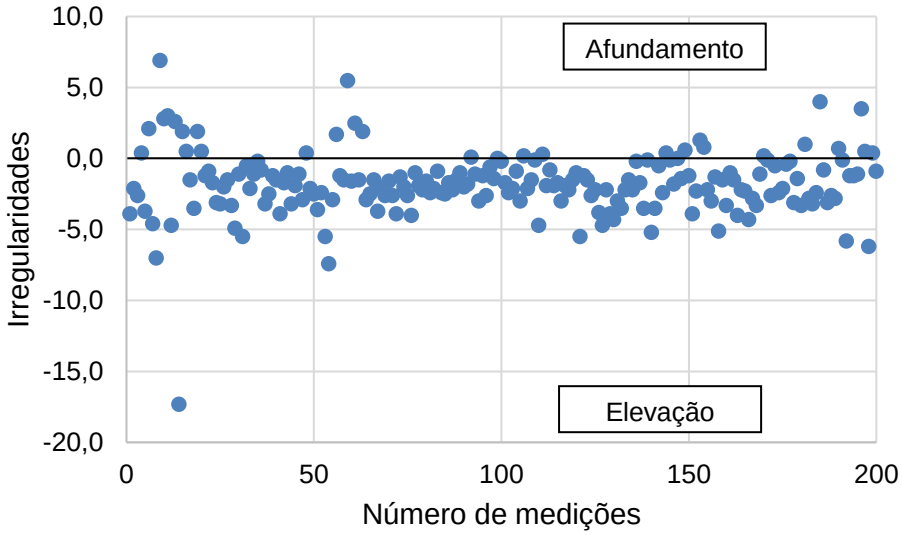
Além disso, é mostrado uma linha de tendência na Figura 32, mostrando o comportamento dos histogramas de acordo com a média móvel de dois períodos de valores M, possuindo comportamentos previsíveis, devido à proximidade da linha de tendência com as barras.

Interpretando os dados obtidos através da Figura 32 e 33, é notório que a classificação da serventia dessa via será influenciada pelos defeitos oriundos da elevação.

7.3.3.2 Via 2

Na Figura 34, é mostrado a dispersão dos pontos de irregularidade em relação aos pontos de medições para o TRE - Faixa 2. Onde valores de irregularidades maiores que zero indicam afundamento e menores que zero indicam elevação.

Figura 34 - Gráfico de dispersão da TRE - Faixa 2 (Avenida Santa Luzia).

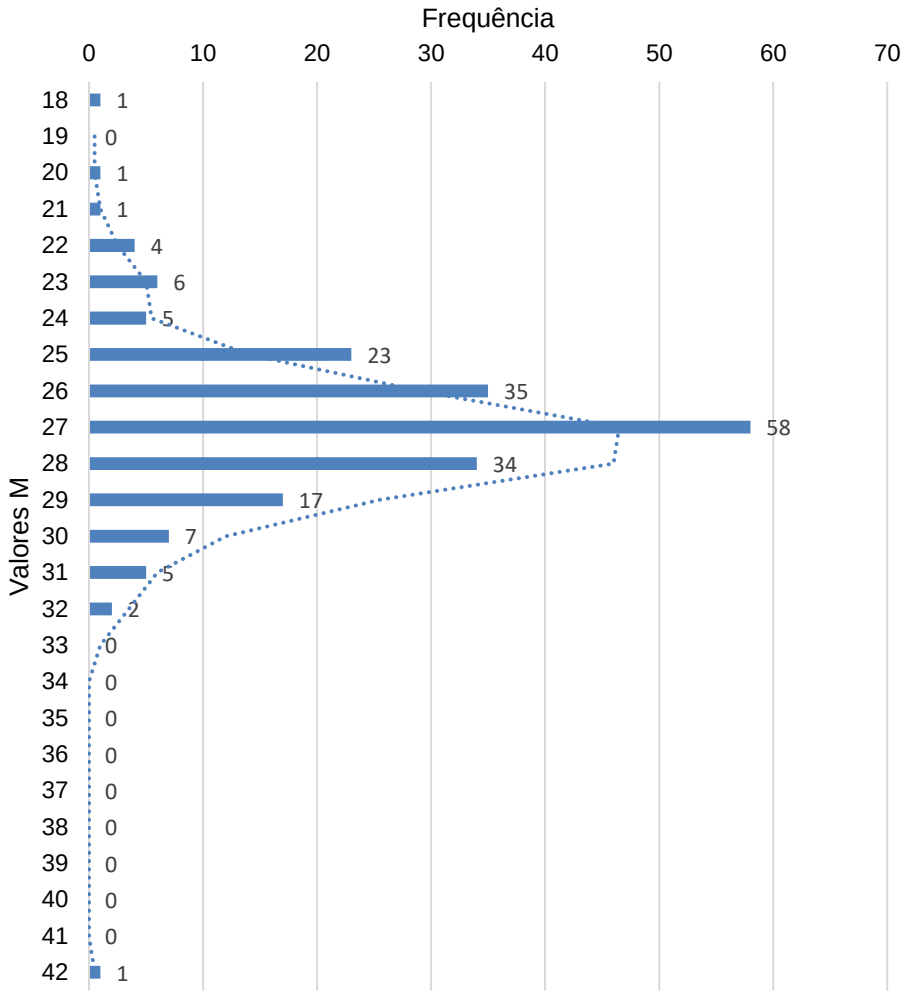


Fonte: Os autores (2022).

Ressalta-se que na outra faixa, o comportamento do gráfico 32 é semelhante ao do gráfico 34. Ou seja, uma maior presença de pontos de elevação, 79,5% precisamente, sendo o valor máximo de elevação encontrado no número de medição (14) apresentando um ILp de (-17,30mm), a (29,47m) da primeira medição. O ponto máximo de afundamento pode ser encontrado no ponto de medição (9), apresentando um ILp de (6,9mm), a (18,95m) da primeira medição.

Esse comportamento é observado na Figura 35, onde os valores concentrados se encontram no intervalo de valores M que compreendem em elevações na via.

Figura 35 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 (Avenida Santa Luzia).



Fonte: Os autores (2022).

Infere-se que no trecho em estudo na faixa 2, a pouca presença de afundamentos e uma quantidade significativa de pontos nos intervalos de irregularidade de (0) a (-5), provando uma certa estabilidade. Vale ressaltar, que pontos distanciados de forma exagerada podem ser aferidos devido patologias presente na via ou canais de escoamento de efluentes.

Além disso, é observado uma linha de tendência na Figura 34, mostrando o comportamento dos histogramas de acordo com a média móvel de dois períodos de valores M, possuindo comportamentos previsíveis, devido à proximidade da linha de tendência com as barras.

Interpretando os dados obtidos através da Figura 34 e 35, é notório que a classificação da serventia dessa via será influenciada pelos defeitos oriundos da elevação.

7.3.4 Determinação do IRI, QI e conceito da via

Com os dados sendo tratados para valores M, tem-se a sua utilização para determinação do comprimento característico (D) através do histograma de frequência. Os histogramas de frequência desenvolvidos para a Avenida Santa Luzia estão presentes no Apêndice IX e Apêndice X. Na Tabela 6, é observado os valores de D, IRI e QI para a TR analisada.

Tabela 6 - Valores de D, IRI e QI obtidos na Avenida Santa Luzia.

Via	Faixa	D (mm)	IRI (mm/m)	QI (cont./m)
1	1	24,71	1,76	22,88
1	2	36,07	2,29	29,77

Fonte: Os autores (2022).

Utilizando a bibliografia, é possível determinar os conceitos de serventia da TR, sendo eles mostrados por meio do Quadro 9. Vale ressaltar que Sayers e Karamihas (1998), em seus estudos sobre o IRI, determinaram velocidades apropriadas de acordo com a situação da via, sendo esses estudos considerados para determinar a velocidade de tráfego da Avenida Santa Luzia, sendo observado, também, no Quadro 9.

Quadro 9 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego na Avenida Santa Luzia.

Identificação	**Conceito (DNIT, 2006)**	**Conceito do pavimento (Sayers e Karamihas, 1998)**	**Velocidade (km/h) (Sayers e Karamihas, 1998)**
TRE- Faixa 1 - Via 1	Excelente	(Autoestrada) (Novo)	100
TRE- Faixa 2 - Via 1	Bom	Novo	100

Fonte: Os autores (2022).

É observado na Tabela 7 a velocidade média de operação do MERLIN TEC e o tempo necessário para a sua operação.

Tabela 7 - Dados obtidos através da trena Bosch GLM 50C na Avenida Santa Luzia.

Via	Faixa	V (pontos/min)	V (km/h)	S (km)	t (h)	t '(h)
1	1	8,70	1,098	0,421	0,462	0,000
1	2	8,00	1,010	0,421	0,417	0,000

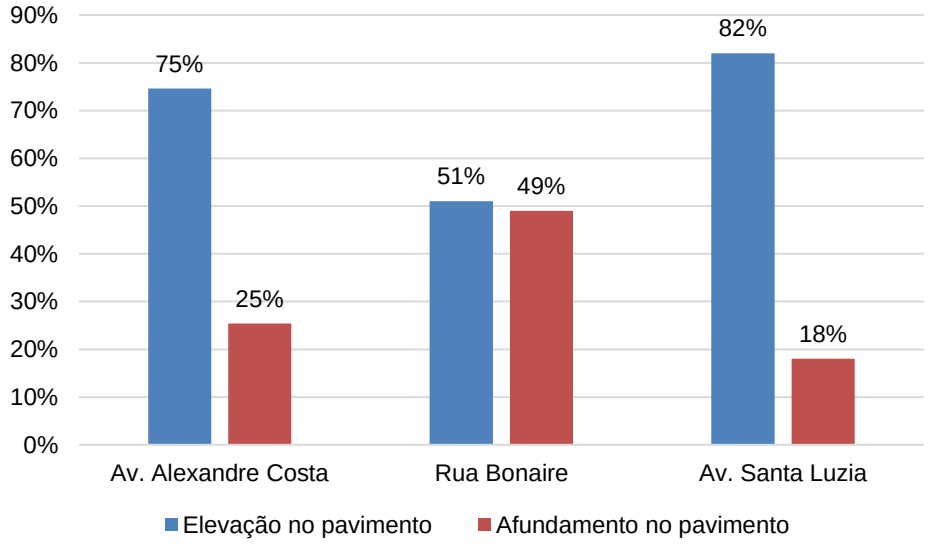
Legenda: V (velocidade), S (distância percorrida), t (tempo de operação), t' (tempo de descanso).
Fonte: Os autores (2022).

7.4 Analises multipavimentos

Realizando a análise dos dados sobre uma perspectiva geral é possível inferir os resultados obtidos com uma maior segurança. Nesse item, será feito uma análise geral sobre as irregularidades presentes no pavimento, o IRI/QI e o tempo total de duração da operação do MERLIN TEC em cada via que foi estudada ao longo desta pesquisa.

Observa-se na Figura 36 o percentual de elevações e afundamentos ao longo de cada pavimento analisado pela pesquisa. Ressaltasse que todos os valores de ILp obtidos em todas as TR em cada via foram consideradas para gerar esse gráfico.

Figura 36 - Percentual de afundamentos e elevações.



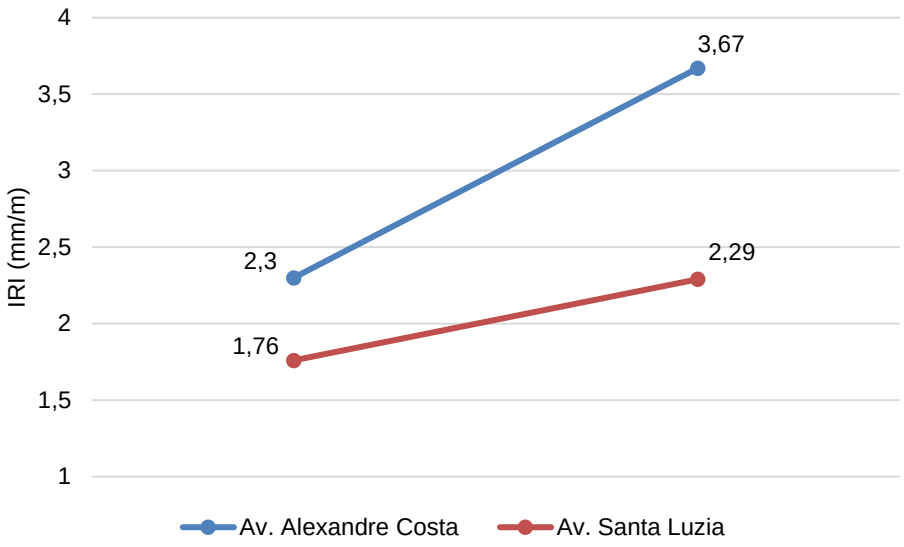
Fonte: Os autores (2022).

Nota-se que para as vias Alexandre Costa e Santa Luzia o percentual de elevação é predominante, caracterizando para ambas, valores de IRI dependentes da elevação do pavimento. Na Rua Bonaire os percentuais de elevação e afundamento

tendem a ser iguais, demonstrando que o IRI calculado para esse pavimento sofrerá influências de elevações e afundamentos.

Em relação aos dados de IRI obtidos, houve variações consideráveis nas TR presentes em cada via, como é observado na Figura 37. Com isso, cada TR analisada obteve o seu grau de serventia. Tais dados isolados são bastante úteis, entretanto, apresentam conceitos de serventia apenas para uma via de toda a faixa de circulação.

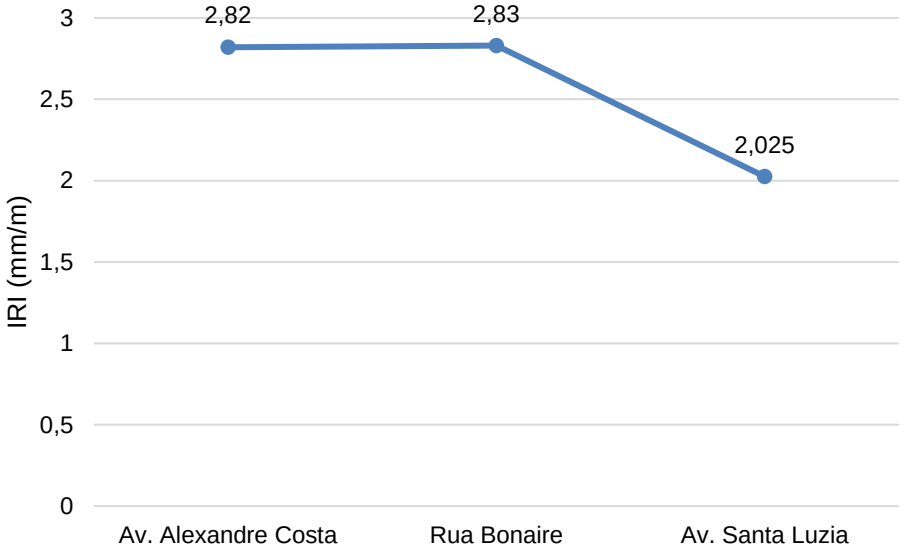
Figura 37 - Variações do IRI nas TR das vias estudadas.



Fonte: Os autores (2022).

De forma a consolidar esses dados para toda a faixa de circulação das vias foi realizado o tratamento para se ter apenas um resultado para cada, sendo realizada a média aritmética. É importante frisar que os dados de QI, não foram considerados uma vez que eles são múltiplos do IRI, obtendo resultados similares de análise. É visto na Figura 38 os valores médios de cada IRI das ruas do estudo.

Figura 38 - Valores médios de IRI.



Fonte: Os autores (2022).

Com esses valores médios é possível determinar novos conceitos de serventia e velocidade de uso da via, conforme Sayers e Karamihas (1998) e DNIT (2006). Esses conceitos são importantes, uma vez que eles deixam de ser apenas para a trilha de roda, sendo integrais a via. No Quadro 10 é observado tais resultados.

Quadro 10 - Níveis de serventia e velocidade de tráfego.

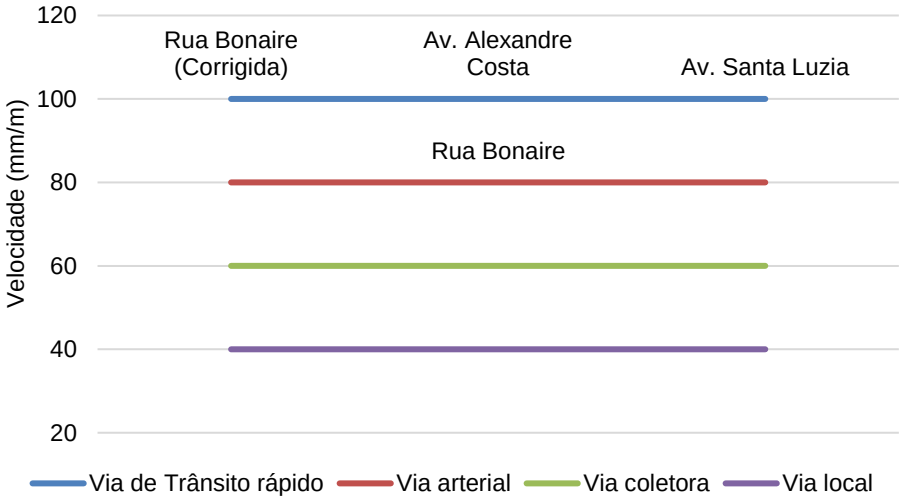
Identificação	**Conceito (DNIT, 2006)**	**Conceito do pavimento (Sayers e Karamihas, 1998)**	**Velocidade (km/h) (Sayers e Karamihas, 1998)**
Av. Alexandre Costa	Regular	(Antigo) (Novo)	100
Rua Bonaire	Regular	(Antigo) (Novo)	100
Av. Santa Luzia	Bom	(Novo)	100

Fonte: Os autores (2022).

Salienta-se que essas velocidades são adotas em relação ao IRI, pois as vias analisadas neste trabalho possuem cruzamentos e semáforos, além de pontos de irregularidades extremas. Portanto, tal velocidade é indicada apenas como forma de mostrar que o conforto ao rolamento do veículo na estrada não é afetado quando transitado a uma certa velocidade.

É observado na Figura 39 a velocidade adotada através dos estudos de Sayers e Karamihas (1998) em relação as velocidades adotadas pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB) em perímetros urbanos.

Figura 39 - Velocidades de uso das vias municipais brasileiras.



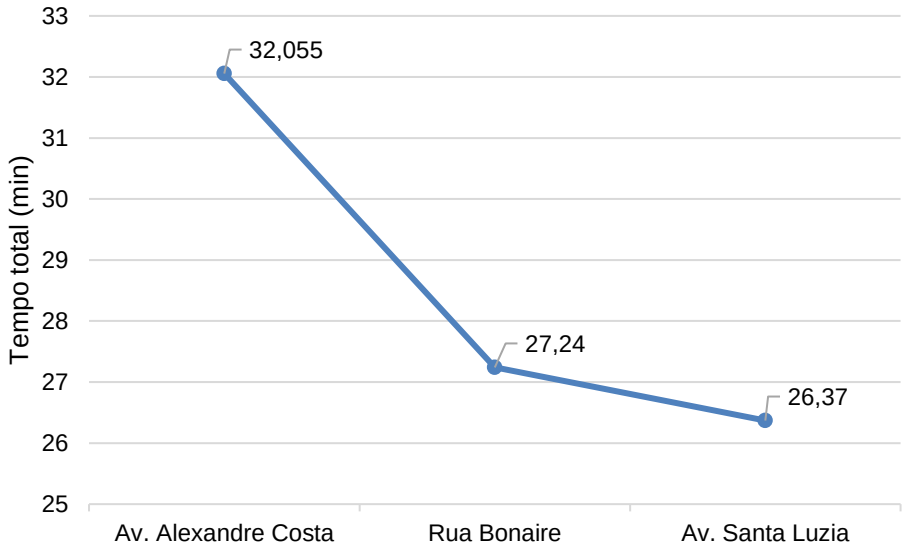
Fonte: Os autores (2022).

Infere-se que todas as velocidades contidas no Quadro 10 e integradas na Figura 39 possuem conceito de uso acima do permitido pelo CTB (2010). Através disso, todas as vias estudadas estão em estado de utilização condizentes ao CTB (2010), pois nenhuma via apresentou resultados abaixo de 80 km/h.

Os resultados da Rua Bonaire sem a correção apresentaram uma velocidade de tráfego de 80 km/h, mesmo não sendo considerado, essa velocidade ainda se adequaria ao CTB.

Outro fator apontado será a velocidade de operação do MERLIN TEC ao longo dos 421 metros de percurso. Na Figura 40 é visto o desempenho temporal do uso do equipamento em cada via estudada.

Figura 40 - Tempo de percurso do equipamento MERLIN TEC.



Fonte: Os autores (2022).

É observado no gráfico o desempenho dos autores operando o equipamento ao longo das vias, sendo analisada uma pequena melhora na rapidez da aferição dos dados ao longo do percurso. Concluísse, portanto, que o tempo médio de aferição com o MERLIN TEC equivale a (28,55 minutos).

8 CONCLUSÃO

Com os resultados obtidos nesta monografia, observa-se a suma importância do conhecimento sobre os índices de irregularidade. Esses parâmetros, quando analisados, através de uma máquina MERLIN, em vias de pequena extensão determinam resultados rápidos e fáceis de serem estudados.

Em relação aos dados de irregularidade longitudinal obtidos, foi possível fazer as analises mesmo com a modificação da metodologia no qual Cundill estudou. A marcação do histograma de frequência ocorreu de acordo com que estabeleceu Cundill, sendo possível determinar todos os valores de IRI e QI. Vale ressaltar, que as formulas dos índices de irregularidades utilizadas não sofreram quaisquer tipos de modificações, não comprometendo os resultados finais da serventia de cada via.

Com a unificação dos índices de irregularidades obtidos nas trilhas de roda de cada via, foi possível determinar a serventia da faixa rodoviária que compõem por completo as ruas e avenidas. Por intermédio, tal ação possibilitou uma avaliação mais segura e objetiva, fomentando resultados mais sintéticos.

As vias Alexandre Costa, Bonaire e Santa Luzia, sendo algumas das principais ruas de Açailândia - MA obtiveram classificações de serventia através desse estudo. A avenida Alexandre Costa obteve conceito de serventia regular. A rua Bonaire teve uma classificação péssima devido a presença de deteriorações em alguns subtrechos, sendo necessário fazer regressões de cálculo para se ter uma análise mais adequada, tendo uma classificação regular, em uma nova análise. Por fim a avenida Santa Luzia foi a que apresentou resultados mais satisfatórios de serventia, sendo classificada como boa.

Com os dados obtidos de pontos de irregularidade em determinados locais aliados com os conceitos de cada via, órgãos responsáveis pela infraestrutura do modal viário do município obtêm informações bastante relevantes para possíveis obras de reforma e adequação do pavimento. No histograma de frequência é possível identificar possíveis patologias na estrutura da via, as marcações na extremidade do histograma em conjunto com as coordenadas catalogadas neste trabalho, possibilitam esses órgãos a encontrarem tais patologias.

Sobre o tempo de operação do MERLIN TEC ao longo dos 421 metros percorridos, foi aferido o tempo médio de (28,55 minutos). Essa importância de

verificar o tempo médio de operação ocorre, uma vez que destaca o equipamento modificado em relação aos demais perfilômetros do mercado. Esse indicativo, é primordial no que tange a frequência de sua utilização para avaliar vias no município, podendo ser feito de forma mensal ou semestral por órgãos interessados, sendo esses, a própria prefeitura.

Portanto, é evidenciado a importância de fiscalizar as irregularidades longitudinais presentes nas vias de municípios, pois esses indicativos determinam o grau de funcionalidade da via, além de auxiliarem na indicação de possíveis obras de restruturação e reformas. Outrossim, reafirma-se que esses índices e a serventia influenciam em decisões imprescindíveis a segurança do condutor, pois são eles que demonstram se a via é capaz de ser transitada de forma segura.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com Objetivo de Validar Método Racional de Dimensionamento de Pavimentos Flexíveis - Fase 2**. Projeto de Pesquisa CONCEPA - LAPAV. Porto Alegre, 2012. 113p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING AND MATERIALS. **ASTM E 867 - 82**: Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems. Estados Unidos: ASTM, 1982.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: Materiais, projetos e restauração. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. ISBN 978-85-86238-56-7.

BARELLA, R. M. **Contribuição Para a Avaliação da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Perfilômetros Inerciais**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008, 362p.

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobras: ABEDA, 2010. 475 p.

BOYU, Z.; TOMONORI, N.; KAI X. Road profile estimation, and its numerical and experimental validation, by smartphone measurement of the dynamic responses of an ordinary vehicle. **Journal of Sound and Vibration**, Tokyo, V. 457, p. 92-117, ISSN 0022-460X, 2019.

BRASIL. Câmara dos deputados. Lei no 9.503, de 23 de setembro de 1997, e legislação correlata. **Código de Trânsito Brasileiro**. 4 ed. Brasília, DF. 2010

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO. **Medição da Irregularidade Longitudinal de Pavimentos com Equipamento Merlin**. São Paulo: Arteris CDT, 2017.

COMMITTEE OF TRANSPORT OFFICIALS. **Guidelines for Network Level Measurement of Road Roughness**. 1. ed. África do Sul: COTO, 2007. 68 p. Disponível em: https://www.imesa.org.za/wp-content/uploads/2016/01/TMH10.pdf. Acesso em: 9 janeiro 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de Rodovias 2021**. Brasília, DF: CNT SEST SENAT, 2021. 231 p. Disponível em: https://pesquisarodovias.cnt.org.br/downloads/ultimaversao/Pesquisa_CNT_Rodovias_2021_Web.pdf. Acesso em: 27 dezembro 2021.

CUNDILL, M. A. **The Merlin Low-cost Road Roughness Measuring Machine.** Digest research report 301. Crowthorne, Berkshire, 1991. 20p.

CUNDILL, M. A. **The MERLIN road roughness machine: user guide**. TRL Report 229. Crowthorne, Berkshire, 1996. 14p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER - PRO 182/94**. Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e maysmeter: Procedimento. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - IPR 700**: Glossário de Termos Técnicos Rodoviários. Rio de Janeiro: DNIT, 2017. 321 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - IPR 179**: Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - IPR 720**. Manual de restauração de pavimentos asfálticos – 2ª Ed. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. 274p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT - IPR 009/2003 - PRO**. Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - procedimento. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

ECHEVERRIA, J. A. S. **Avaliação do Efeito de Restaurações com Fresagem e Recapeamento nas Condições Funcional e Estrutural de Pavimentos com Volume de Tráfego Médio**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 155p.

FIESP. **Pavimento de vias no Brasil:** infraestrutura de transportes terrestres rodoviários e cadeias produtivas da pavimentação. São Paulo, 2017. 70p. ISBN 978-85-7201-027-6.

HIRPAHUANCA, D. L. **Determinación y Comparación de la Regularidad Superficial del Pavimento de la Carretera Cusco-Urcos, Usando Teléfonos Inteligentes y el Rugosímetro de MERLIN**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Profesional de Ingeniero Civil) – Universidad Andina del Cusco, Cusco, 2016. 136 p.

LANCELOT, Eric. **Contratos por Desempenho no Setor Rodoviário**: Rumo ao aprimoramento da eficiência na administração da manutenção e reabilitação (A experiência brasileira). Washington, DC: The World Bank, 2010. 73 p.

MORROW, G. **Comparison of Roughness Calibration Equipment – with a View to Increased Confidence in Network Level Data**. Institute of Transportation Engineers Annual Meeting and Exhibit 2005, Victoria, Austrália, V. 1, p. 843-856, agosto 2006, isbn: 9781622761869.

NAKAHARA, S. M. **Estudo do Desempenho de Reforços de Pavimentos Asfálticos em Vias Sujeitas a Tráfego Comercial Pesado**. 2005. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 297p.

PAVI, D. R. et al. Controle de temperatura do concreto asfáltico em restauração rodoviária: seu impacto nos índices iniciais de irregularidade longitudinal do

pavimento. **Revista Transportes**, V. 29, p. 01-17, ISSN 2237-1346, 2021. DOI:10.14295/transportes.v29i4.2381.

PINTO, J. I. B. R. **Caracterização superficial de pavimentos rodoviários**. 2003. Dissertação (Mestrado em Vias de Comunicação) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2003. 260p.

QUEIROZ, C.V. **A Procedure for Obtaining a Stable Roughness Scale from Rod-and-Level Profiles**. Working Document No. 22, Brazil/UNDP Study, GEIPOT, Brasília, 1981.

RODRIGUES, J. K. G. **Avaliação Estrutural de um Pavimento Flexível de Base Constituída de Solo Lateritico, Através dos Ensaios Deflectométricos e Pressiometricos**. 1992. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992. 168 p.

SAYERS, M. W.; KARAMIHAS, S. M. **The Little Book of Profiling**: Basic Information About Measuring and Interpreting Road Profiles. 1. ed. Michigan: The Regent of the University of Michigan, 1998. 100 p.

SILVA, J. A. R. A. **Análise dos Parâmetros de Irregularidade Longitudinal de Ciclo Faixas com o Uso do Equipamento MERLIN na Cidade de João Pessoa – PB**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019.

SILVA, M. C. **Avaliação funcional e estrutural das vias asfaltadas do campus da UFV**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. 101 p.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2008. 128 p. ISBN 978-85-7266-2003-1.

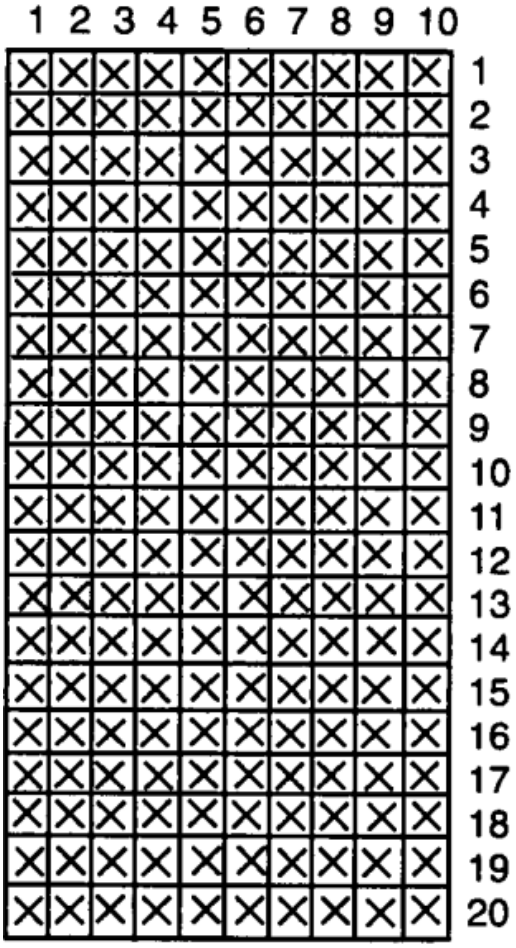
ANEXOS

ANEXO I - CAIXA DE CONTAGEM ELABORADA PELO TRL

Conforme Cundill (1996) para evitar a ocorrência de erros no número de medições feitas no decorrer do trecho, será utilizada uma caixa de registro onde serão marcadas por um “X” todas as medições feitas em cada quadrado presente nessa caixa.

Na Figura 41 é visto como deve estar a caixa de registro no fim da análise do trecho da via.

Figura 41 - Caixa de registro (Tally Box).

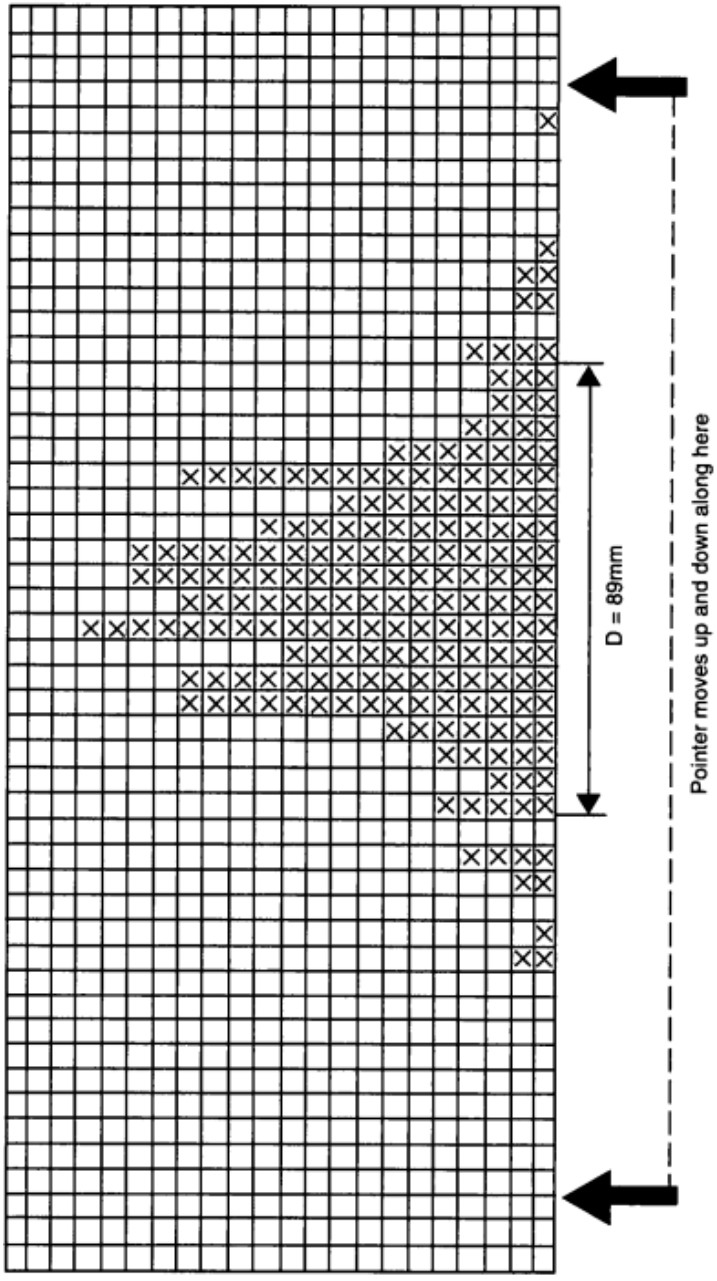


Fonte: Cundill (1996).

ANEXO II - TRATAMENTO ESTATÍSTICA DOS DADOS OBTIDOS PELO MERLIN

Cundill (1996) descreve o histograma como sendo um conjunto de quadrados possuindo uma espessura de 5 mm cada, esse conjunto forma um gráfico que possui 50 linhas e 22 colunas. Na Figura abaixo, é visto como são executadas as marcações no histograma de frequência, e também, como é obtido a largura característica “D”.

Figura 42 - Histograma demonstrativo de acúmulo de pontos do TRL.



Fonte: Cundill (1996).

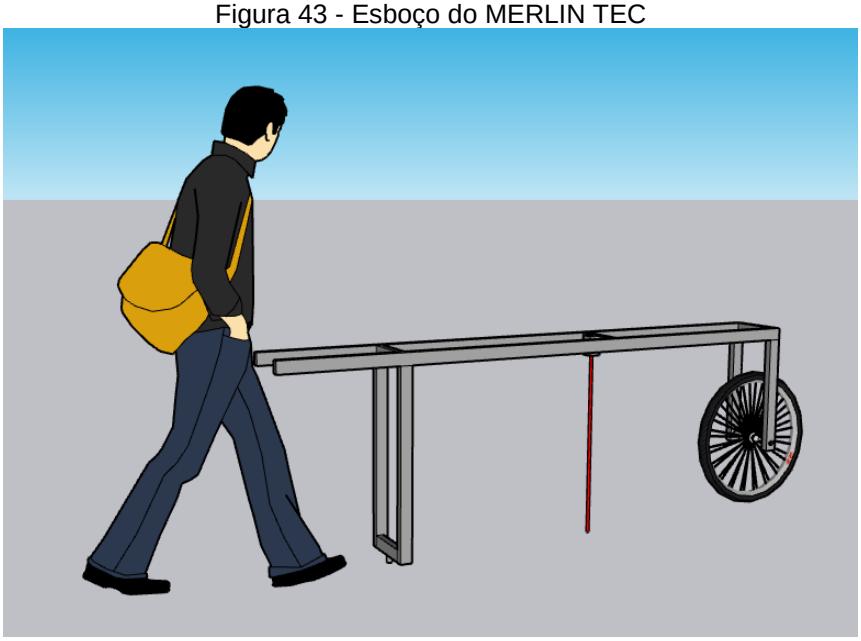
APÊNDICES

APÊNDICE I - PROCEDIMENTOS PARA CONFECÇÃO DO MERLIN TEC

Para a construção do chassi do MERLIN TEC são adotados tubos de aço galvanizado com seção retangular. Os benefícios ganhos com sua utilização em comparação com perfis maciços foi um fator para sua escolha, como, por exemplo, por ser um material vazado, ele possuirá um menor peso, facilitando assim sua operação. Com isso, será selecionado um tubo retangular 50 x 30 centímetros com espessura de 1,50 milímetros e um tubo redondo de 48,30 milímetros.

Como visto, anteriormente nesse projeto de pesquisa, o MERLIN possui alguns componentes cujo seu conjunto o caracteriza. Com isso, esse novo MERLIN, será o produto da retirada de alguns desses componentes, mais precisamente os componentes de medição (sapata de medição, massa, pivô, apoio, braço móvel e ponteiro), sendo substituído por uma trena a “laser” GLM 50 C da fabricante Bosch. É observado na Figura 43 como será o formato do chassi e a localização da trena.

Figura 43 - Esboço do MERLIN TEC



Fonte: Os autores (2021).

Vale ressaltar que a distribuição dos apoios do MERLIN TEC será feita conforme o modelo de Cundill (1996). A figura 4 presente neste trabalho, demonstra de forma clara quais são as distâncias entre o apoio 1 e apoio 2, além de mostrar a distância entre o mecanismo de leitura e os apoios do MERLIN.

O mecanismo de leitura será fixado na parte superior do equipamento, para isso será colocado um perfil de tubo de aço a 88,8 cm da extremidade do apoio móvel.

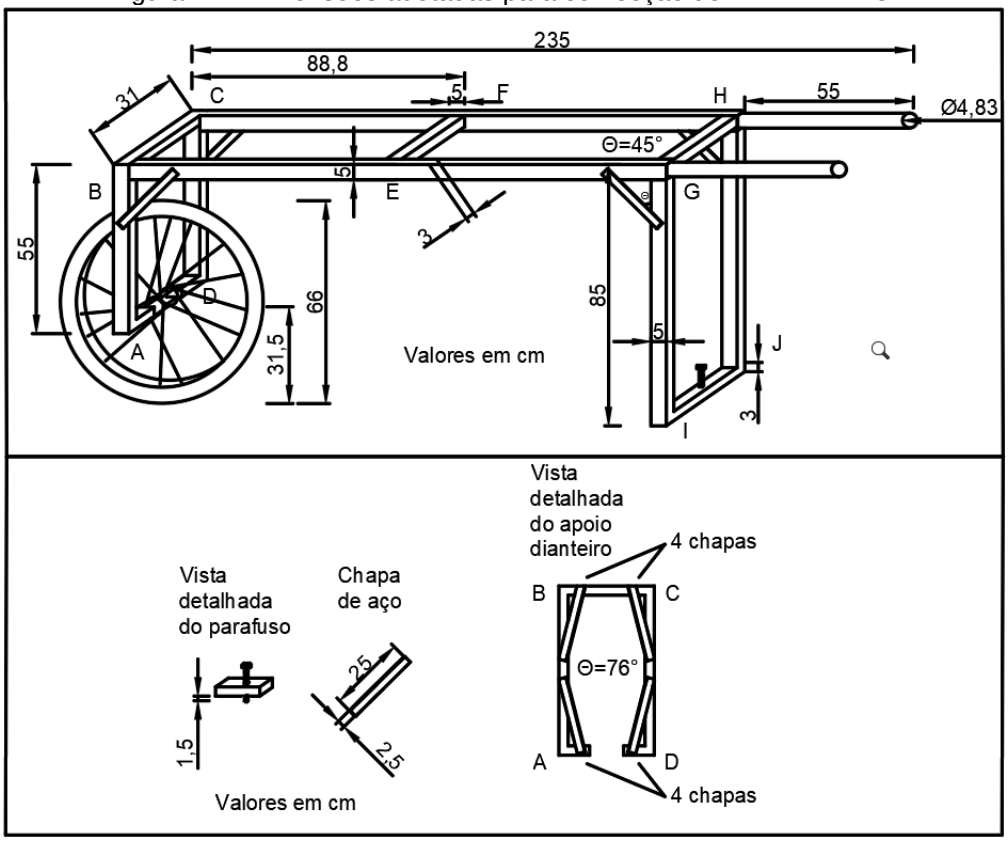
Essa distância foi adotada considerando a largura da trena Bosch, pois o seu sensor a laser fica localizado no seu centro, com isso o laser da trena será colocado a uma distância de 90 cm de cada apoio.

Para dar mais estabilidade a estrutura são fixadas por meio de solda, chapas de aço galvanizado padronizadas com espessura de 2,65 milímetros, além de um parafuso rosqueado, cuja função será de regular o equipamento. O parafuso será adotado no apoio traseiro, deixando uma sobra até a extremidade do solo de 1,5 cm. Por sua vez, as chapas são adotadas nas partes onde ocorreram a solda, sendo 8 no apoio móvel e mais 4 entre os apoios e a estrutura retangular superior.

Para o apoio móvel, será adquirido um pneu de bicicleta aro 26. Esse pneu será escolhido devido seu comprimento linear ser compatível com o valor que Cundill determina para cada intervalo de medição de irregularidade.

Para a confecção de toda a estrutura do MERLIN TEC, são consideradas as medidas e disposições apresentadas na Figura 44.

Figura 44 - Dimensões adotadas para confecção do MERLIN TEC.

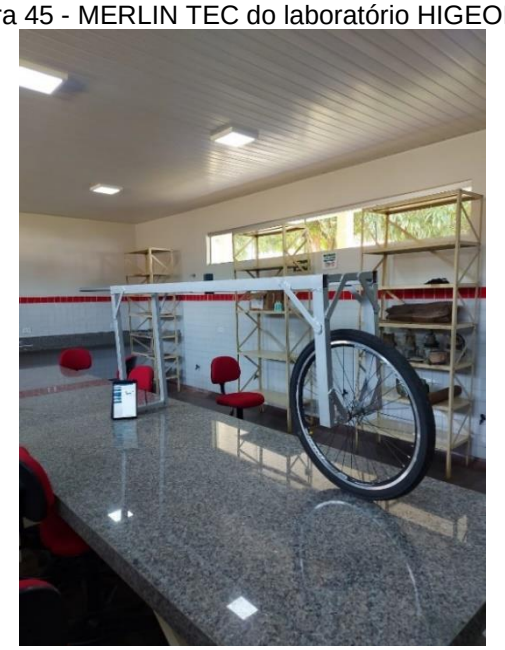


Fonte: Os autores (2022).

APÊNDICE II - MERLIN TEC DESENVOLVIDO PELO LABORATÓRIO HIGEOPAV DA UEMASUL

Na Figura 45 é visto um MERLIN TEC completamente montado e pronto para ser utilizado no campo.

Figura 45 - MERLIN TEC do laboratório HIGEOPAV.



Fonte: Os autores (2022).

Na Figura 46 são vistos o tablet e a trena a laser que terão a finalidade de executar a medição da irregularidade longitudinal.

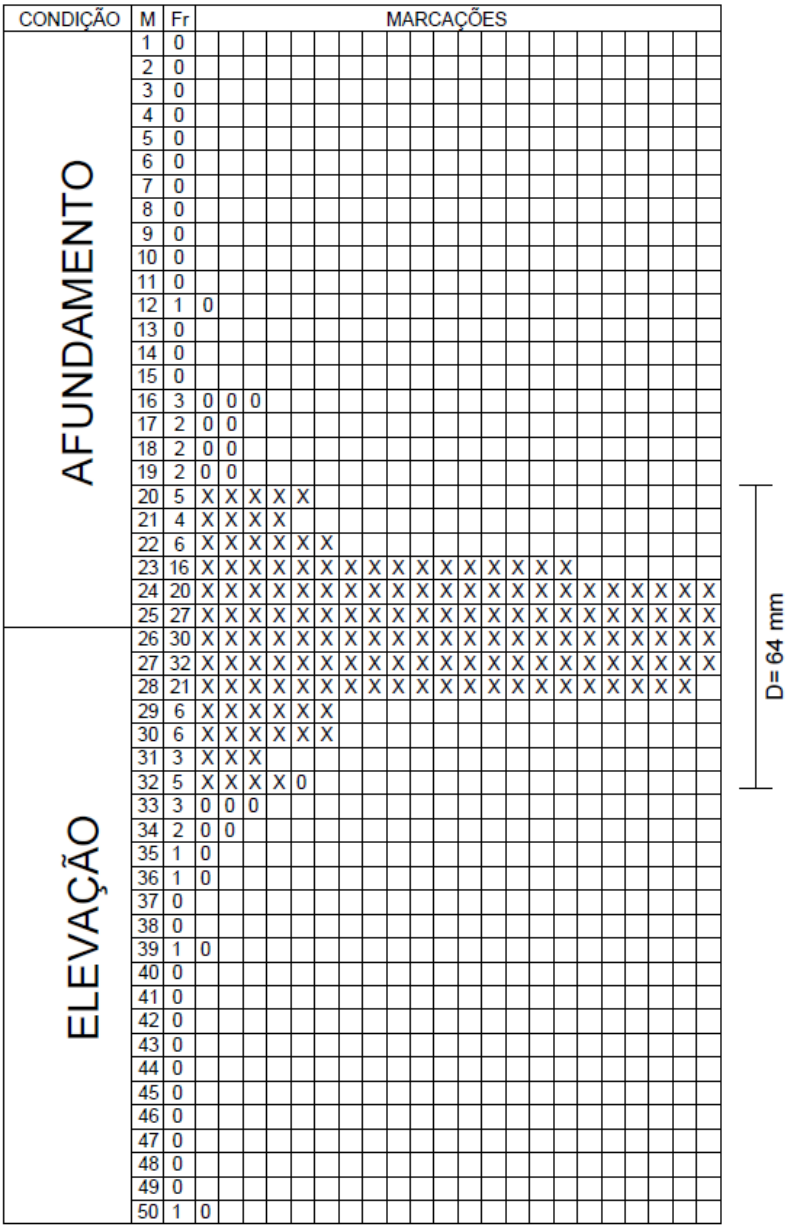
Figura 46 - Tablet e trena a laser do MERLIN TEC.

Fonte: Os autores (2022).

APÊNDICE III - TRATAMENTO ESTATÍSTICA DOS DADOS OBTIDOS PELO MERLIN TEC

Na Figura abaixo é observado um modelo fora de escala elaborado pelo autor, onde o mesmo mostra como será feito a marcação dos dados que serão obtidos em campo.

Figura 47 - Histograma demonstrativo de acúmulo de pontos



Fonte: Os autores (2022).

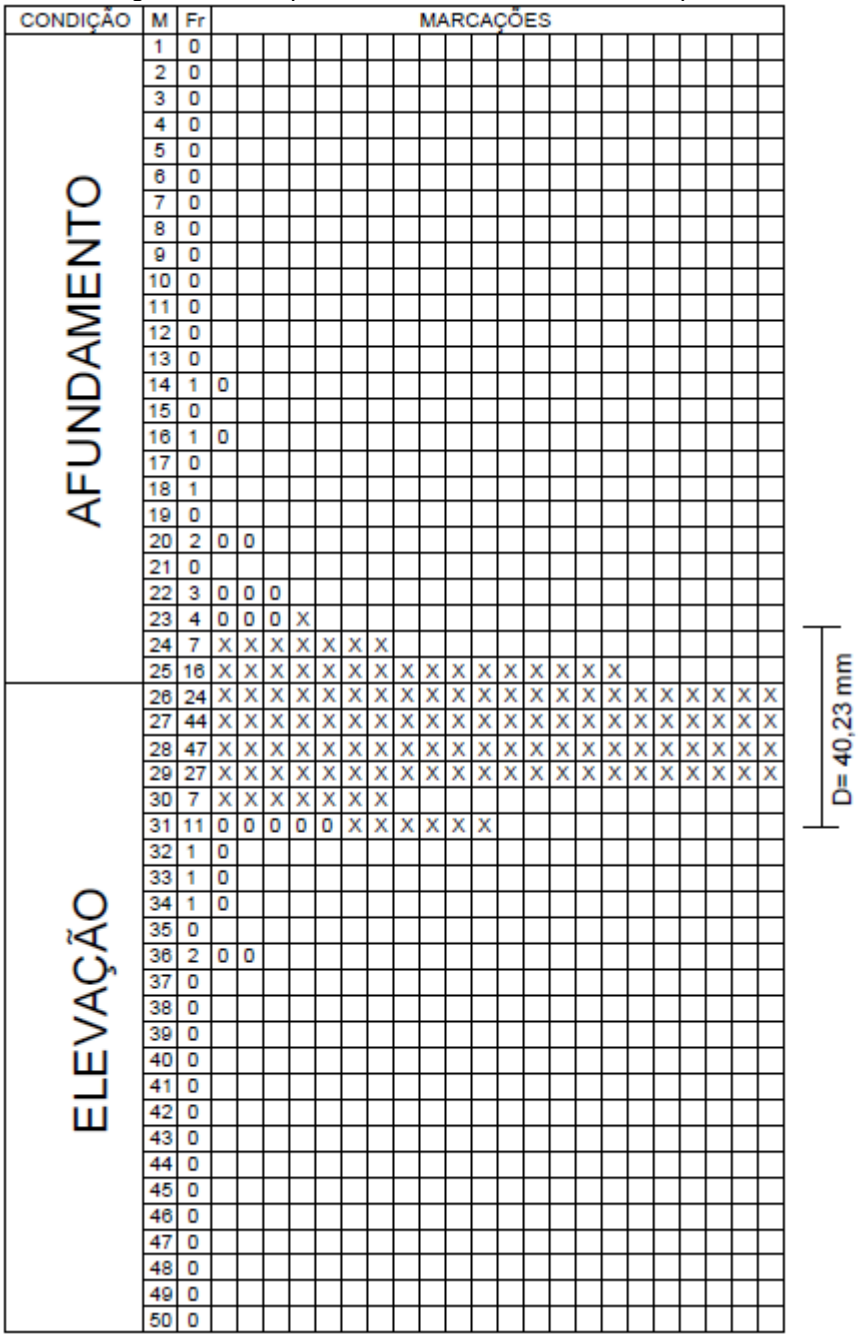
APÊNDICE IV - TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS NA AVENIDA ALEXANDRE COSTA (TRE - FAIXA 1 - VIA 1)

Quadro 11 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
32	24	26	25	28	28	18	36	27	26	1
29	28	27	26	28	25	27	29	27	25	2
27	26	29	29	31	26	27	27	31	29	3
24	29	28	28	26	27	27	27	28	27	4
27	28	28	28	28	28	28	29	29	25	5
26	27	28	27	26	14	16	28	25	27	6
30	29	28	27	29	28	27	25	27	28	7
31	31	23	36	26	31	26	31	28	23	8
23	29	27	26	29	26	25	33	26	26	9
28	30	25	25	27	29	29	28	28	27	10
20	27	27	29	23	27	27	29	26	27	11
28	27	27	28	28	30	29	25	28	28	12
28	28	27	29	28	31	27	29	26	26	13
30	28	27	26	28	25	27	28	31	28	14
28	27	24	29	27	27	29	26	34	31	15
28	30	28	22	20	28	27	22	29	28	16
27	28	30	27	24	31	29	27	27	29	17
28	26	25	25	26	29	25	26	24	24	18
22	26	27	28	29	27	28	26	24	30	19
28	28	31	25	25	26	29	27	27	28	20

Fonte: Os autores (2022).

Figura 48 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).



Fonte: Os autores (2022).

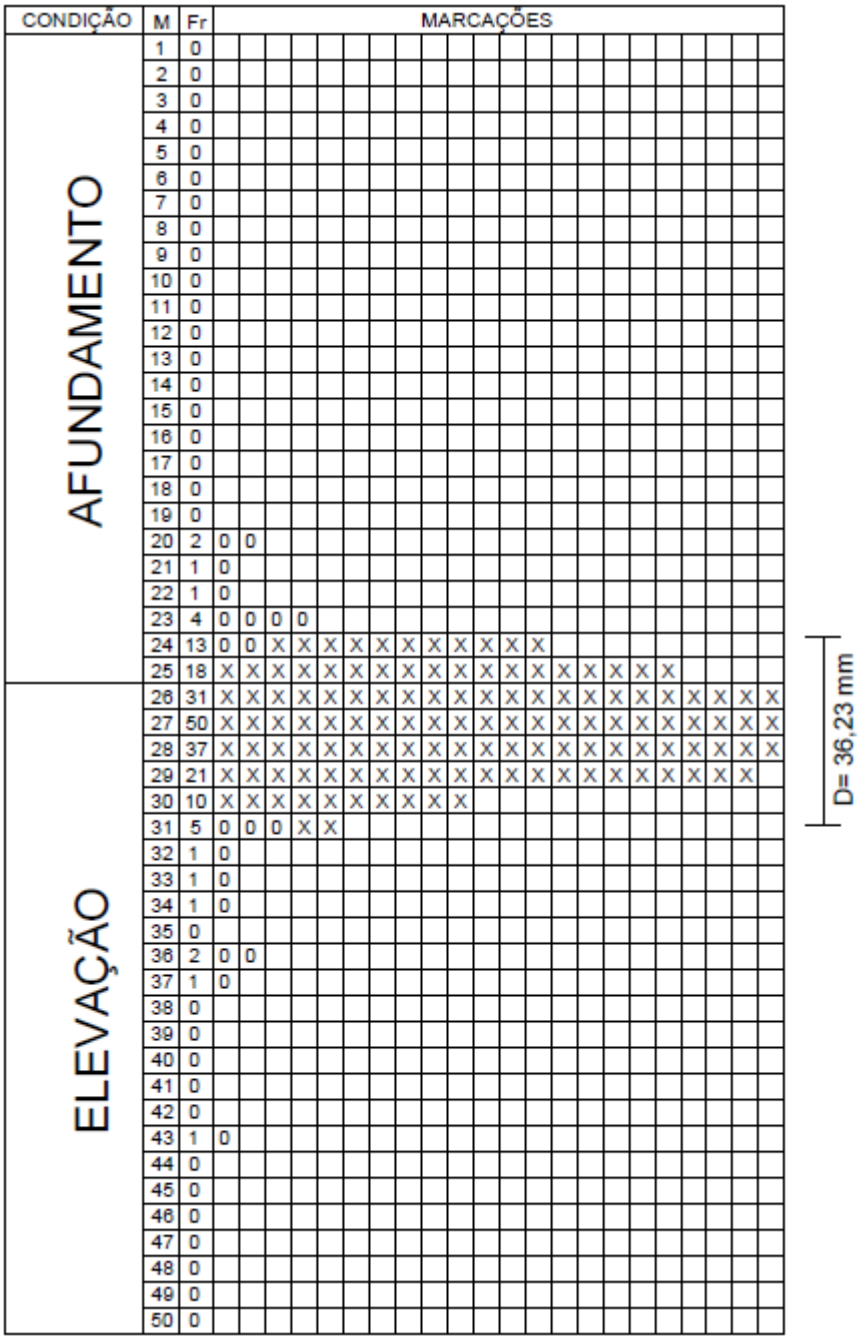
APÊNDICE V - TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS NA AVENIDA ALEXANDRE COSTA (TRE - FAIXA 2 - VIA 1)

Quadro 12 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
27	28	28	30	20	27	25	27	25	27	1
25	27	28	28	29	27	24	25	26	25	2
26	28	26	26	27	26	25	23	28	23	3
25	29	26	27	27	28	28	27	27	26	4
27	29	28	28	29	26	27	27	27	27	5
29	25	28	27	26	27	27	26	26	27	6
29	28	27	28	27	27	31	27	26	26	7
27	28	28	27	26	26	27	30	27	27	8
28	29	27	28	29	27	26	27	27	28	9
28	26	27	23	25	37	36	26	24	28	10
34	30	26	27	24	28	24	43	30	28	11
26	32	28	30	28	27	29	28	27	24	12
24	28	24	26	26	31	25	29	33	29	13
27	25	24	24	31	28	28	30	30	27	14
27	29	27	25	27	26	24	25	29	26	15
26	28	27	27	24	36	25	26	30	24	16
31	27	29	28	29	27	28	29	28	28	17
29	20	29	26	27	23	24	30	28	28	18
29	22	31	27	26	26	26	30	28	29	19
21	27	25	25	25	28	29	25	27	26	20

Fonte: Os autores (2022).

Figura 49 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 1 (Av. Alexandre Costa).



Fonte: Os autores (2022).

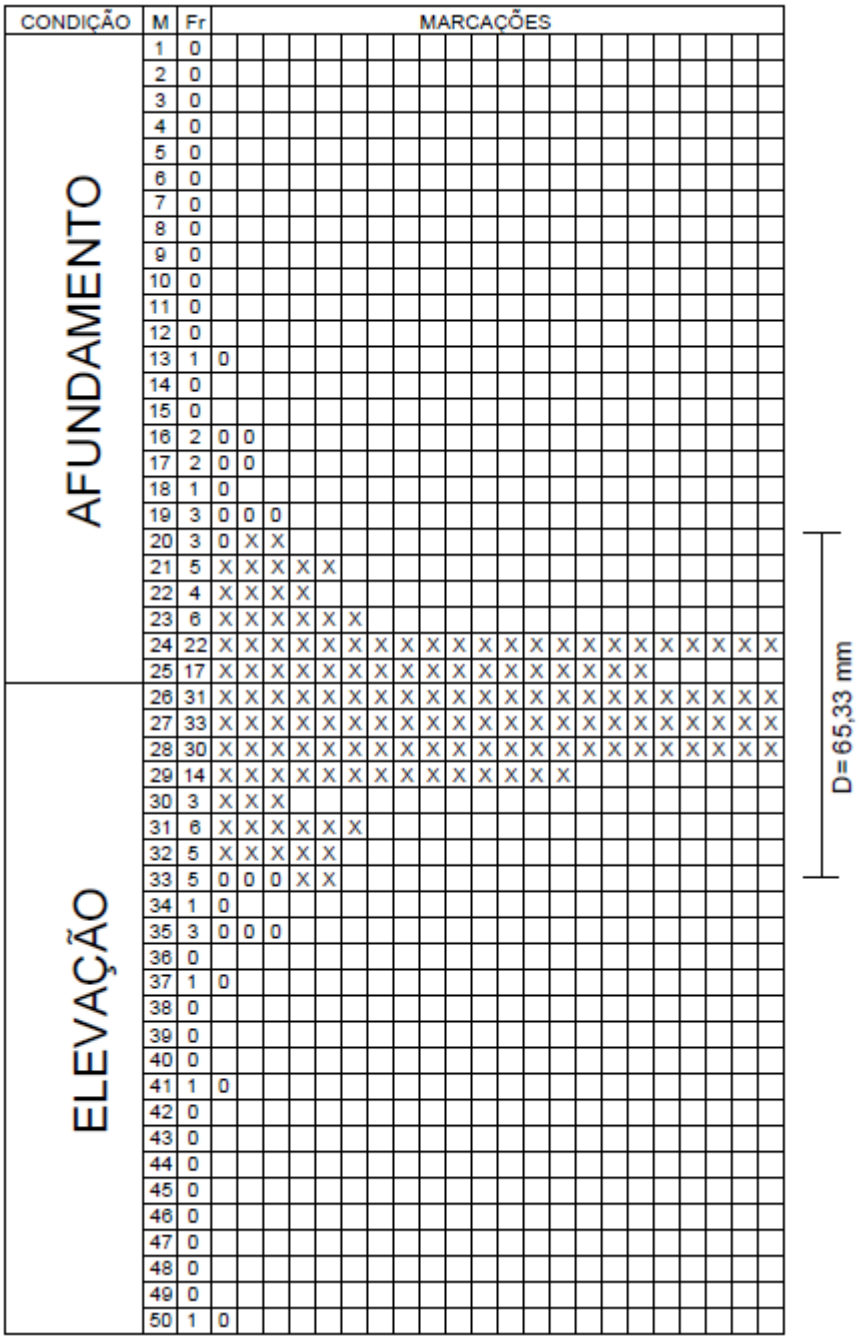
APÊNDICE VI - TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS NA AVENIDA ALEXANDRE COSTA (TRE - FAIXA 1 - VIA 2)

Quadro 13 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
26	27	23	31	27	33	28	30	26	27	1
26	25	21	35	27	27	28	34	25	25	2
24	28	32	27	28	26	21	29	23	24	3
26	27	29	29	29	33	28	22	27	31	4
23	29	25	26	28	27	24	28	25	24	5
23	19	24	31	28	28	19	32	25	22	6
26	25	27	33	28	26	31	25	27	13	7
21	27	25	25	32	28	24	26	28	24	8
31	30	29	24	28	28	27	26	26	26	9
26	25	27	25	31	32	24	28	29	27	10
26	27	27	28	26	29	24	27	26	26	11
20	27	28	26	28	28	27	29	27	26	12
24	26	24	28	24	21	19	28	32	37	13
40	35	27	22	33	35	17	16	29	18	14
27	16	29	29	24	50	27	22	28	27	15
28	25	26	27	24	28	26	24	23	27	16
24	25	24	28	29	27	23	28	26	17	17
21	27	24	30	20	25	24	27	26	27	18
26	28	24	25	28	26	28	26	29	27	19
26	24	26	26	27	26	25	33	20	28	20

Fonte: Os autores (2022).

Figura 50 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 1 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).



Fonte: Os autores (2022).

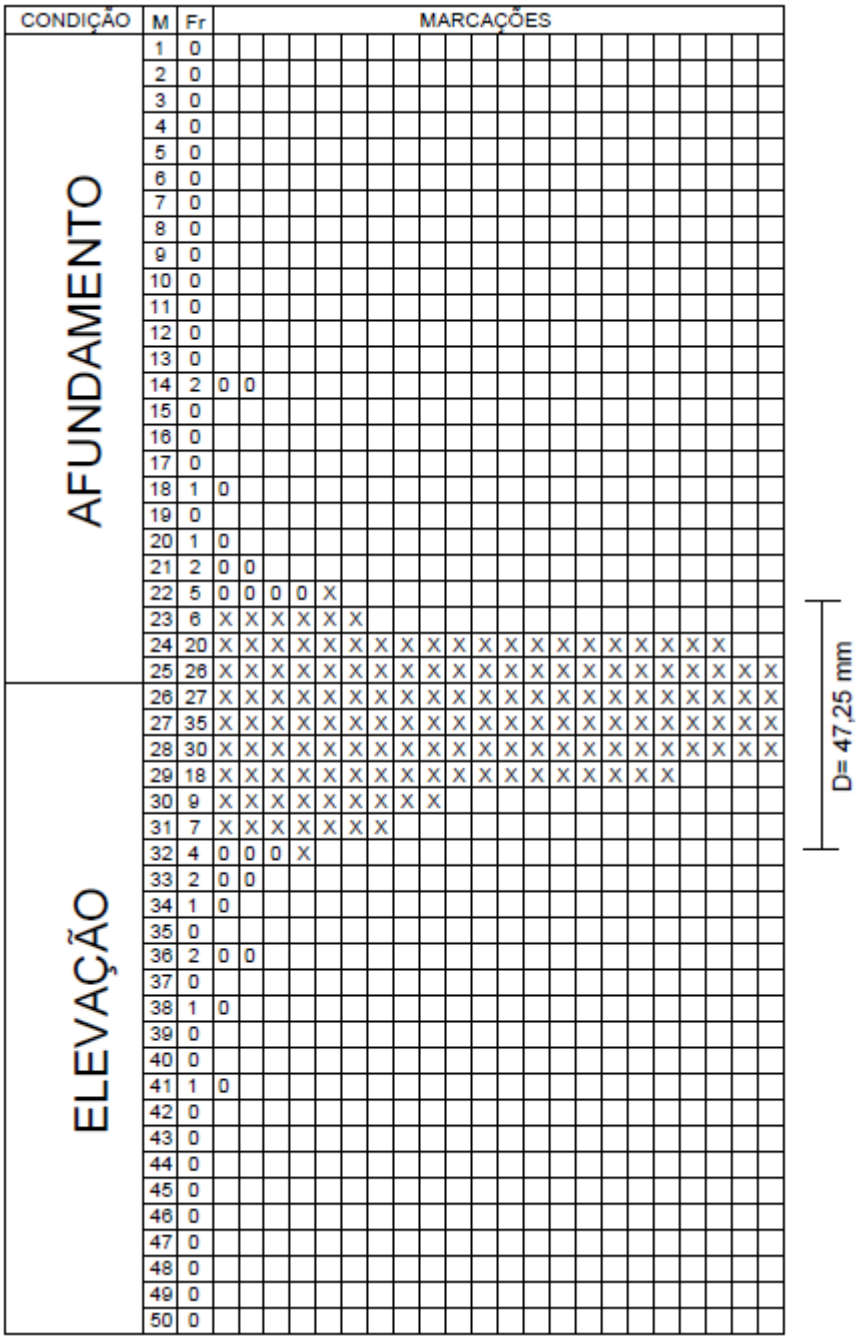
APÊNDICE VII - TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS NA AVENIDA ALEXANDRE COSTA (TRE - FAIXA 2 - VIA 2)

Quadro 14 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
28	25	29	27	26	22	29	27	29	28	1
29	27	27	26	29	27	26	24	24	29	2
22	24	23	25	32	30	28	18	29	29	3
29	25	36	31	24	33	24	24	29	34	4
27	31	31	29	27	31	28	27	29	28	5
24	27	32	26	25	27	28	27	27	38	6
36	24	25	22	24	26	30	24	24	28	7
27	25	29	28	27	27	29	27	26	26	8
28	27	27	27	26	25	27	26	26	28	9
26	27	23	25	28	28	32	32	25	29	10
26	24	30	21	28	30	27	22	30	33	11
26	26	26	28	24	24	26	25	30	28	12
26	27	27	26	31	25	31	28	28	14	13
27	20	22	27	28	25	25	30	24	25	14
41	27	30	21	25	14	27	24	25	25	15
28	25	25	28	28	24	28	28	23	24	16
27	27	28	25	24	26	27	25	23	30	17
26	28	28	27	25	25	25	23	25	28	18
26	29	23	24	26	26	31	29	26	27	19
26	28	26	26	27	25	27	28	28	29	20

Fonte: Os autores (2022).

Figura 51 - Histograma de frequência da TRE - Faixa 2 - Via 2 (Av. Alexandre Costa).



Fonte: Os autores (2022).

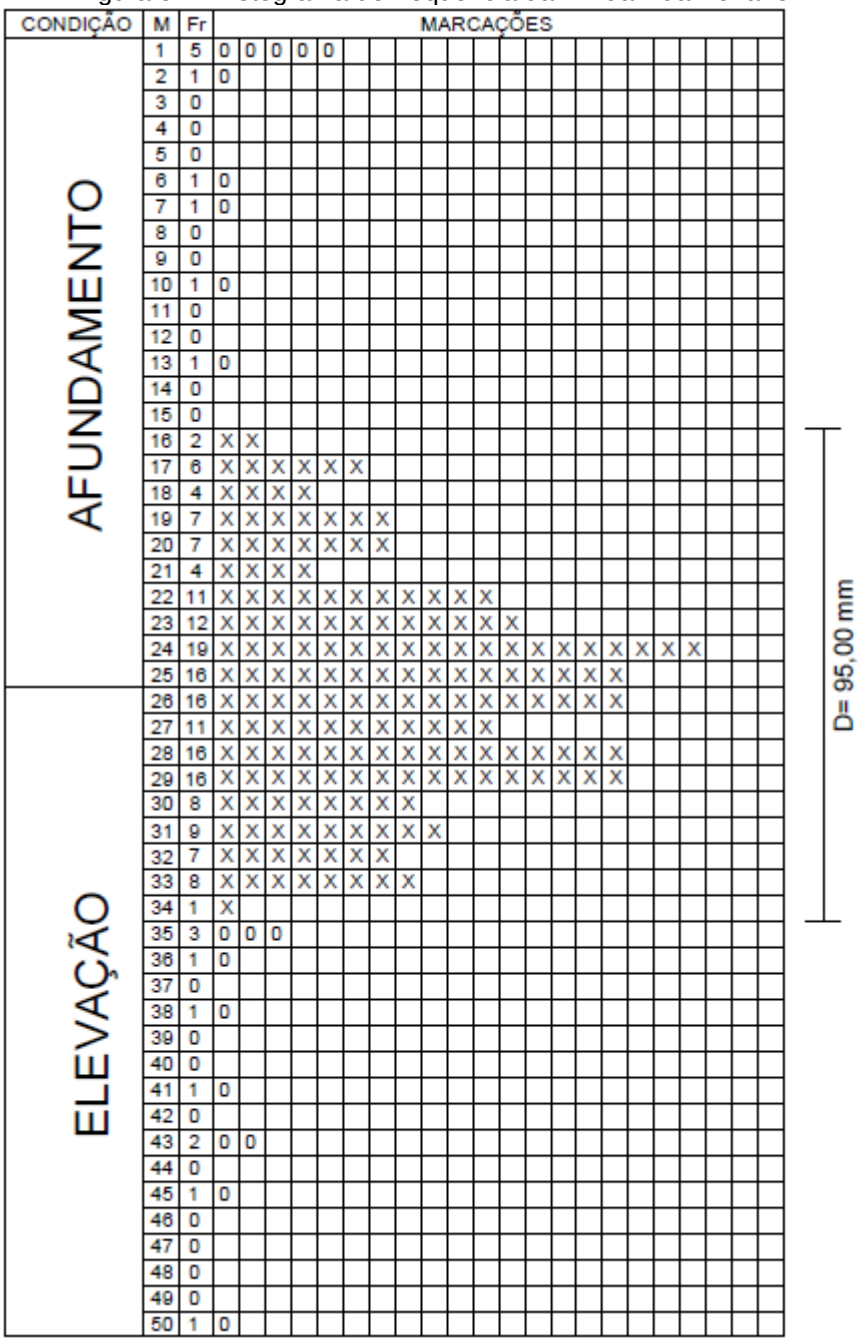
APÊNDICE VIII - TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS NA RUA BONAIRE

Quadro 15 - Valores M encontrados na TR da Rua Bonaire.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
27	25	26	26	29	29	22	25	26	20	1
35	24	22	28	32	27	28	29	32	23	2
26	28	18	31	31	26	23	24	25	24	3
26	30	25	25	26	25	28	29	30	29	4
28	29	25	25	23	32	24	30	28	30	5
26	28	24	19	23	26	20	32	30	43	6
25	29	24	16	33	33	22	24	22	22	7
28	27	32	17	24	27	33	28	23	25	8
19	20	22	13	26	33	21	26	26	21	9
29	23	19	24	21	29	20	24	24	24	10
22	24	35	29	36	38	43	31	-42	35	11
30	33	22	28	34	17	18	10	22	17	12
17	25	24	2	-10	27	20	27	31	29	13
17	21	33	28	31	18	29	31	22	24	14
29	28	17	23	28	19	28	19	24	30	15
22	25	45	-5	41	55	31	-28	-14	6	16
19	27	29	7	32	27	23	33	25	25	17
23	30	28	27	19	29	26	27	31	24	18
31	16	27	20	29	20	28	23	25	32	19
24	33	23	23	26	24	18	26	26	25	20

Fonte: Os autores (2022).

Figura 52 - Histograma de frequência da TR da Rua Bonaire.



Fonte: Os autores (2022).

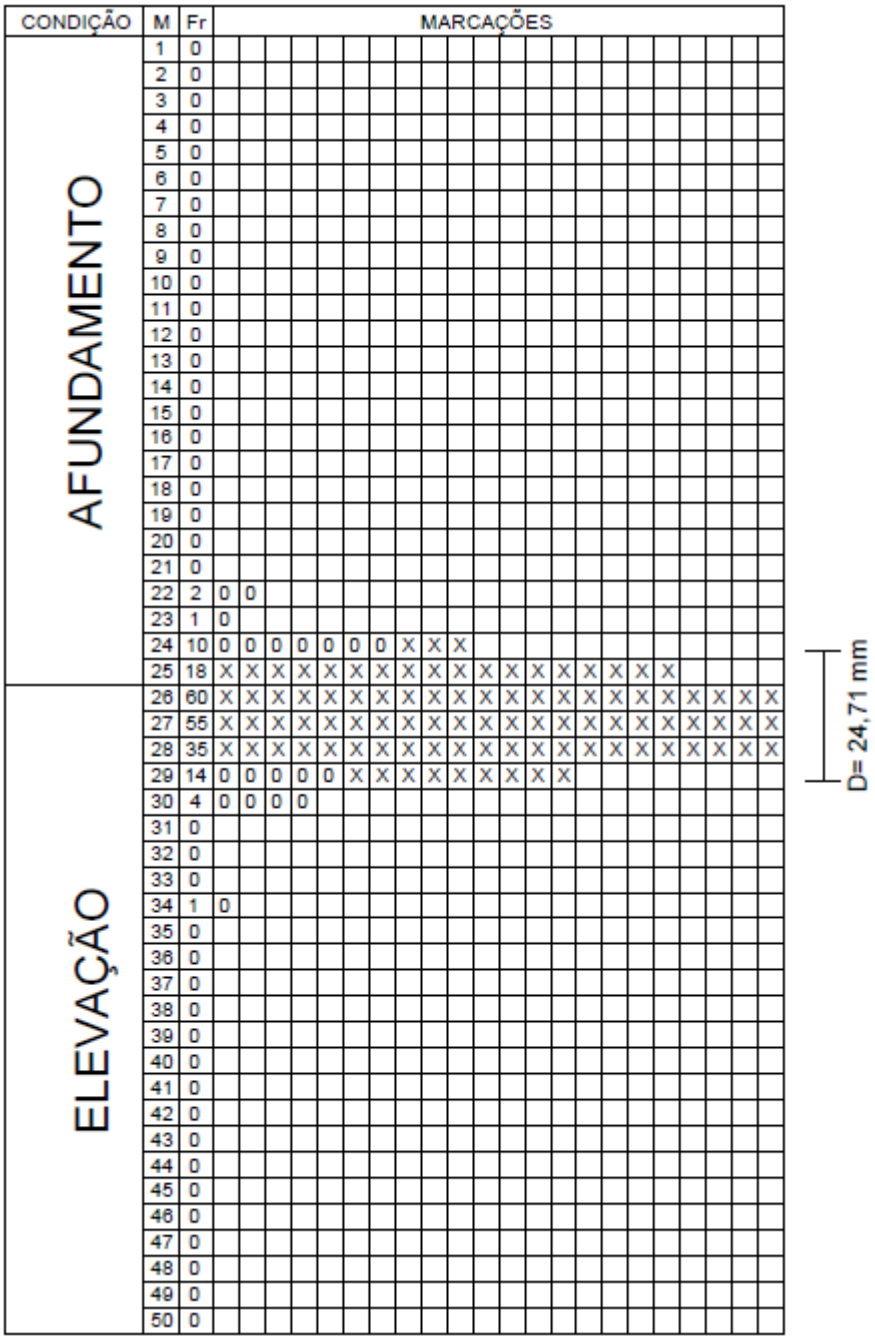
APÊNDICE IX – TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS NA AVENIDA SANTA LUZIA (TRE - FAIXA 1)

Quadro 16 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 1 da Av. Santa Luzia.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
26	24	28	27	28	29	25	28	26	29	1
30	26	27	27	28	26	26	27	26	23	2
26	29	27	27	28	27	26	28	26	27	3
26	25	27	26	28	27	27	26	26	27	4
26	26	26	25	24	27	27	24	29	26	5
27	28	26	27	24	27	24	28	27	28	6
26	25	28	26	26	28	28	26	26	26	7
28	25	25	25	25	28	26	26	26	27	8
27	29	26	27	27	26	27	27	27	27	9
29	27	26	26	26	26	28	27	26	26	10
27	26	28	27	28	26	27	28	27	28	11
26	27	27	29	27	28	24	30	28	27	12
29	28	27	29	27	26	28	27	27	27	13
25	27	26	24	29	22	30	29	28	27	14
26	27	28	27	26	25	28	27	26	27	15
26	28	26	26	28	27	26	28	30	28	16
26	26	29	27	26	25	24	27	28	28	17
27	25	24	28	26	29	26	25	26	26	18
27	26	26	27	29	27	25	26	25	25	19
22	28	34	27	26	26	25	24	25	26	20

Fonte: Os autores (2022).

Figura 53 - Histograma de frequência na TRE - Faixa 1 da Av. Santa Luzia



Fonte: Os autores (2022).

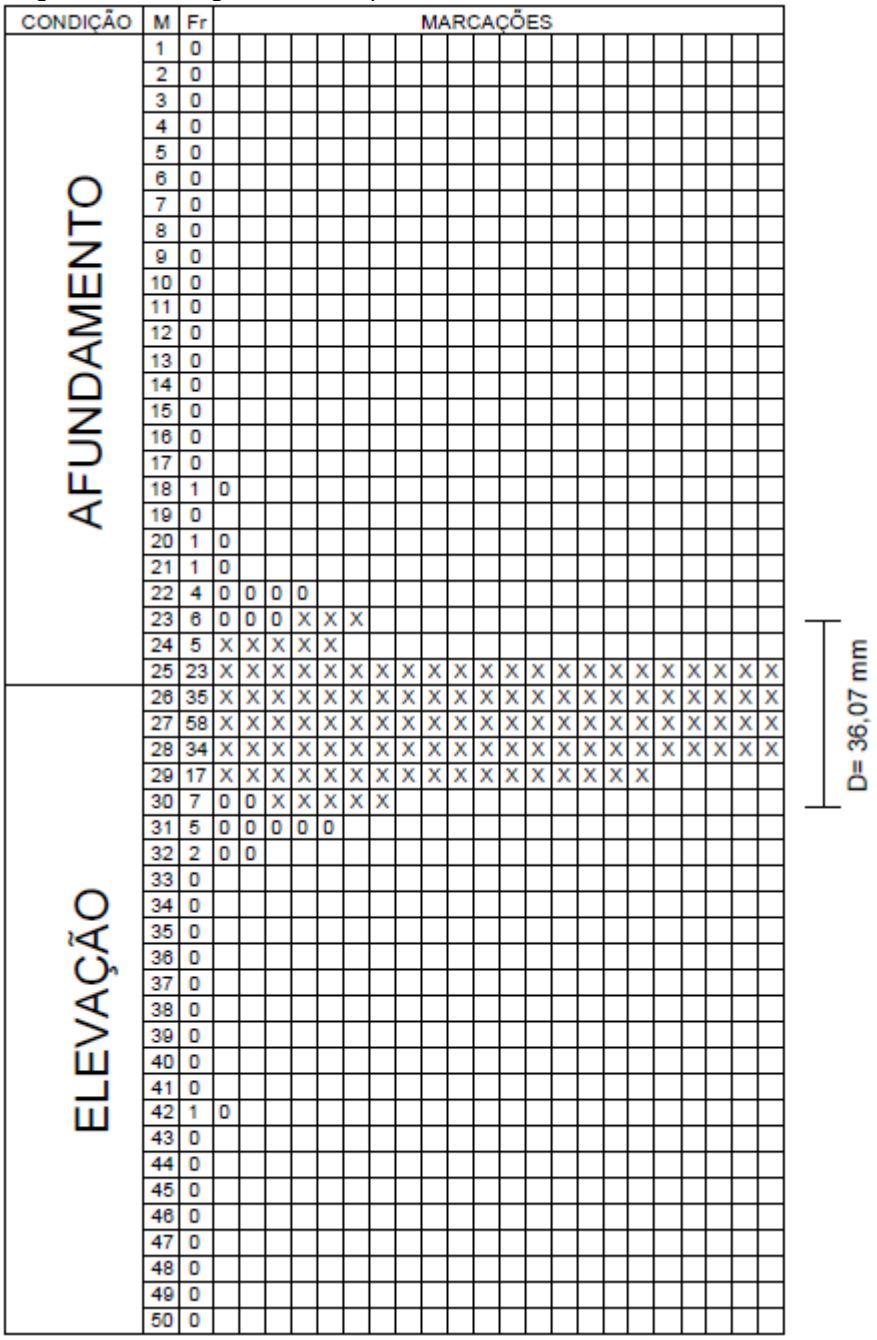
APÊNDICE X - TRATAMENTO DOS DADOS COLETADOS NA AVENIDA SANTA LUZIA (TRE - FAIXA 2)

Quadro 17 - Valores M encontrados na TRE - Faixa 2 da Av. Santa Luzia.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	X
26	25	31	25	22	26	26	26	31	25	1
24	28	28	28	26	21	27	28	28	24	2
28	26	28	25	25	27	27	26	28	25	3
25	26	28	28	29	27	27	29	27	26	4
28	27	30	26	28	27	24	24	27	29	5
26	24	26	25	27	25	25	27	26	29	6
30	25	29	27	25	27	27	27	29	28	7
29	29	27	30	29	27	28	27	26	31	8
26	27	27	27	28	27	27	26	27	25	9
30	25	27	27	25	28	26	27	27	27	10
25	25	26	26	28	26	28	26	25	27	11
27	26	27	27	27	28	27	26	27	27	12
27	27	27	26	29	28	27	26	29	28	13
27	28	27	29	27	28	28	23	27	23	14
27	20	27	26	23	28	32	31	27	29	15
28	27	25	28	26	27	28	26	27	29	16
27	26	28	28	26	25	26	27	26	31	17
26	30	28	27	27	28	28	27	26	26	18
25	23	29	27	25	23	42	22	30	22	19
22	18	32	30	23	29	25	28	27	29	20

Fonte: Os autores (2022).

Figura 54 - Histograma de frequência na TRE - Faixa 2 da Av. Santa Luzia



Fonte: Os autores (2022).