



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
DIRETORIA GERAL DO CAMPUS JOÃO PESSOA
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR
CURSO SUPERIOR DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

MILENA LEOPOLDINA DE MEDEIROS

RODOVIA PB 033: READEQUAÇÃO DO PROJETO DE SUPERESTRUTURA EM
TRECHOS URBANOS DEVIDO A POSSÍVEIS DANOS FÍSICOS EM EDIFICAÇÕES
PROVOCADOS PELO ROLO COMPACTADOR

JOÃO PESSOA

2024

MILENA LEOPOLDINA DE MEDEIROS

RODOVIA PB 033: READEQUAÇÃO DO PROJETO DE SUPERESTRUTURA EM
TRECHOS URBANOS DEVIDO A POSSÍVEIS DANOS FÍSICOS EM EDIFICAÇÕES
PROVOCADOS PELO ROLO COMPACTADOR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, como requisito curricular obrigatório para obtenção do título de Engenheira Civil.

Orientador: Prof. Me. Severino Ferreira da Silva Filho

JOÃO PESSOA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Nilo Peçanha do IFPB, *campus* João Pessoa

M488r Medeiros, Milena Leopoldina de.

Rodovia PB 033 : readequação do projeto de superestrutura em trechos urbanos devido a possíveis danos físicos em edificações provocados pelo rolo compactador / Milena Leopoldina de Medeiros. – 2024.

84 f. : il.

TCC (Graduação – Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação da Paraíba / Departamento de Ensino Superior / Coordenação do Curso Superior de Bacharelado em Engenharia Civil, 2024.

Orientação : Prof. Me. Severino Ferreira da Silva Filho.

1. Estradas vicinais. 2. Terraplenagem. 3. Compactação. 4. Vibrações. 5. Rolo pé de carneiro. I. Título.

CDU 625.7(043)



DECISÃO 20/2024 - CBEC/UA1/UA/DDE/DG/IP/REITORIA/IFPB, de 7 de outubro de 2024.

MILENA LEOPOLDINA DE MEDEIROS

RODOVIA PB 033: READEQUAÇÃO DO PROJETO DE SUPERESTRUTURA EM TRECHOS URBANOS DEVIDO A POSSÍVEIS DANOS FÍSICOS EM EDIFICAÇÕES PROVOCADOS PELO ROLO COMPACTADOR

	Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba como requisito curricular para obtenção do título de Bacharela em Engenharia Civil
--	---

Aprovado em 24 de setembro de 2024

Banca Examinadora

Me. Severino Ferreira da Silva Filho (Orientador - IFPB)

Dr. Vamberto Monteiro da Silva (Examinador Interno - IFPB)

Me. Sara Fragoso Pereira (Examinadora Interna - IFPB)

JOÃO PESSOA

2024

Documento assinado eletronicamente por:

- Severino Ferreira da Silva Filho, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/10/2024 11:45:44.
- Vamberto Monteiro da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 07/10/2024 15:14:15.
- Sara Fragoso Pereira, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 09/10/2024 13:28:59.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 07/10/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código: 615334
Verificador: ea377f8d5e
Código de Autenticação:



NOSSA MISSÃO: Ofertar a educação profissional, tecnológica e humanística em todos os seus níveis e modalidades por meio do Ensino, da Pesquisa e da Extensão, na perspectiva de contribuir na formação de cidadãos para atuarem no mundo do trabalho e na construção de uma sociedade inclusiva, justa, sustentável e democrática.

VALORES E PRINCÍPIOS: Ética, Desenvolvimento Humano, Inovação, Qualidade e Excelência, Transparência, Respeito, Compromisso Social e Ambiental.

À Dona Nicó.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por me permitir chegar até aqui e por ter colocado as ferramentas e pessoas certas em minha vida, que me orientaram e apoiaram ao longo dessa jornada.

Aos meus pais, minha eterna gratidão pelo tempo e dedicação investidos na minha vida e formação. Sem eles nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Prof. Ferreira, sou profundamente grata pelos ensinamentos valiosos e pelo suporte na construção deste trabalho. Seus conselhos e orientações ficarão comigo para toda a vida.

Ao Dr. Roberto Pimentel pelas orientações e experiências compartilhadas, que contribuíram significativamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos engenheiros Roberto, Hélio e Eduardo, que estão na linha de frente na execução da rodovia, agradeço por todo o suporte oferecido e pelas valiosas sugestões que foram agregadas a este trabalho.

Aos meus professores, meu sincero agradecimento por todo conhecimento compartilhado, que será alicerce na minha trajetória profissional.

Aos meus colegas de curso, sou grata pelo apoio moral e auxílio durante essa fase da minha vida. Agradeço especialmente aos colegas Alexandre e Luciano, cujo suporte nas aferições em Rio Tinto/PB foi primordial.

Ao meu companheiro, meu profundo agradecimento pelo amor e apoio constantes. Sua presença e incentivo foram fundamentais para que eu concluísse essa etapa.

À minha melhor amiga que esteve ao meu lado durante desse processo, agradeço por todos os conselhos, palavras de encorajamento e dedicação a me ajudar. Sem você eu não teria conseguido.

Aos meus colegas de trabalho, minha sincera gratidão pela colaboração e paciência durante meu período estudantil.

Aos demais que indiretamente participaram dessa trajetória, igual gratidão.

Estradas difíceis sempre levam à lugares bonitos.

J. R. Spinolla

RESUMO

As estradas vicinais, que representam a maior parte da malha viária do país, desempenham papel vital na conectividade de comunidades rurais, no desenvolvimento econômico regional e no acesso a serviços. O presente trabalho avalia os potenciais impactos do uso do rolo compactador pé de carneiro em edificações lindeiras durante a construção da rodovia vicinal PB-033, entroncamento com a PB-035, entre as estacas E862 e E872, onde está localizada a comunidade Taberaba (Rio Tinto/ PB). Para isso, foram aferidas as Velocidades de Pico da Partícula (PPV) geradas por um rolo pé de carneiro em diferentes distâncias, utilizando o *Software* iDynamics, e comparando com os valores limites de velocidade de vibração de partículas recomendados pela DIN 4150-3. A partir dos resultados obtidos inferiu-se que o DER/PB agiu assertivamente ao alterar o projeto de superestrutura original da rodovia no trecho avaliado, a fim de se evitar danos físicos às edificações devido ao uso de rolos compactadores.

Palavras-chave: estradas vicinais; terraplenagem, compactação; vibrações; rolo pé de carneiro.

ABSTRACT

The local roads, which represent the majority of the country's road network, play a vital role in connecting rural communities, regional economic development, and access to services. This study evaluates the potential impacts of using a sheepfoot roller on adjacent buildings during the construction of the local road PB-033, at the intersection with PB-035, between piles E862 and E872, which includes the Taberaba community (Rio Tinto/PB). For this purpose, Peak Particle Velocities (PPV) generated by a sheepfoot roller were measured at different distances using the iDynamics Software and compared with the vibration velocity limits recommended by DIN 4150-3. Based on the results obtained, it was inferred that DER/PB acted decisively by altering the original road superstructure design in the section to avoid physical damage to the buildings due to the use of sheepfoot rollers.

Key words: local roads; earthmoving, compaction; vibrations; sheepsfoot roller.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrada vicinal.....	20
Figura 2 - Rodovia vicinal.	21
Figura 3 - Rolo liso compactador	23
Figura 4 - Rolo de pneus.....	24
Figura 5 - Rolo pé de carneiro.	25
Figura 6 - Elementos de uma onda senoidal.....	28
Figura 7 - Frequências críticas para alguns casos especiais, conforme NBR 6118/2023.	31
Figura 8 - Limites de vibrações de curta duração em edificações.	32
Figura 9 - Acelerômetro piezoelétrico	33
Figura 10 - Casa de adobe na Paraíba.....	35
Figura 11 - Casa de Taipa em comunidade indígena em Baía da Traição/PB.	36
Figura 12 - Casa de tijolos sem elementos estruturais em Taberaba, Rio Tinto/PB.	36
Figura 13 - Casa com estrutura de tijolos com revestimento argamassado, em Rio Tinto/PB....	37
Figura 14 - Localização geográfica do município de Rio Tinto e das estradas vicinais PB-033 e PB-035.....	39
Figura 15 - Traçado da via no trecho analisado, compreendido entre a E862 e E872.	40
Figura 16 - Imagem de satélite da área objeto de estudo. Data da imagem: 02/04/2024.	40
Figura 17 - Representação dos pontos de medição mediante a faixa de tráfego do rolo pé de carneiro	41
Figura 18 - Determinação dos pontos a partir das distâncias com o auxílio da trena.	41
Figura 19 - Ponto marcado e georreferenciado.	43
Figura 20 - Ilustração da locação dos pontos.	43
Figura 21 - Rolo compactador pé de carneiro utilizado na pesquisa.	44
Figura 22 - Processo de medição nos pontos de 5 m.....	45
Figura 23 - Processo de aferição da distância das habitações ao traçado da estrada.....	46
Figura 24 - Processo de aferição da distância das habitações ao traçado da estrada.....	47
Figura 25 - Estrutura apenas de tijolo, tradicional na comunidade Taberaba	48
Figura 26 - Término da PB-033 revestida com Tratamento Superficial Duplo (TSD) e início do trecho que será pavimentado com paralelepípedos	48
Figura 27 - Curva de aceleração no ponto P3 (retorno) contendo comportamento singular no seu início e fim	50

Figura 28 - Curva de aceleração no ponto P3 (retorno) após recorte50

LISTA DE TABELAS

Quadro 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de medição	44
Quadro 2 - Modelo dos smartphones e respectivos acelerômetros	46
Quadro 3 - Resultado da medição comparativa.....	49
Quadro 4 - PPVs e frequências máximas aferidas nos pontos	51
Quadro 5 - Pontos anômalos com seus respectivos eixos, frequências e PPV	52
Quadro 6 - Catalogação e levantamento situacional das habitações.	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CPA	Camada Porosa de Atrito
CTB	Código de Trânsito Brasileiro
DDP	Diferença de Potencial
DETRAN	Departamento Estadual de Trânsito
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
HZ	Hertz
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
PB	Parafba
PR	Paraná
PPV	Velocidade de Pico de Partícula
SMA	Asfalto de Matriz de Pedra
TSD	Tratamento Superficial Duplo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3	REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1	RODOVIAS E ESTRADAS	17
3.2	A INFLUÊNCIA DAS ESTRADAS NA ECONOMIA BRASILEIRA.....	18
3.3	CLASSIFICAÇÃO DA GESTÃO	18
3.4	CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS	19
3.4.1	Quanto à sua administração ou jurisdição	19
3.4.2.	Quanto à sua classificação funcional	19
3.4.3.	Quanto às suas características físicas	19
3.4.4	Quanto ao seu padrão técnico	19
3.4	ESTRADAS VICINAIS	20
3.5	COMPACTAÇÃO DO SOLO	22
3.6	ROLOS COMPACTADORES.....	22
3.7.1	Rolo liso	22
3.7.2	Rolo de pneus	23
3.7.3	Rolos pé de carneiro	24
3.8	CONTROLE DE COMPACTAÇÃO NA EXECUÇÃO DE ESTRADAS	25
3.9	VIBRAÇÕES MECÂNICAS	27
3.10	DANOS FÍSICOS EM EDIFICAÇÕES RESULTANTES DE VIBRAÇÕES	30
3.11	NORMATIZAÇÃO.....	30
3.11.1	Norma ABNT 6118:2023	31
3.11.2	Norma Alemã DIN 4150-3	31

3.12	ACELERÔMETROS	32
3.12.1	Acelerômetros Piezoelétricos.....	33
3.12.2	Aplicativo iDynamics da Universidade de Kaiserslautern – Alemanha.....	34
3.13	HABITAÇÕES RURAIS	34
4	METODOLOGIA	37
5	ESTUDO DE CASO	38
5.1	MEDIÇÕES.....	41
5.1.1	Métodos	41
5.1.2	Equipamentos	46
5.2	LEVANTAMENTO SITUACIONAL	46
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICES	61

1 INTRODUÇÃO

A eficiência de uma infraestrutura de transporte tem destacada importância para o desenvolvimento e a sustentabilidade socioeconômica de uma sociedade moderna. Considerando a matriz de transporte composta pelos modais rodoviário, ferroviário, aquaviário, aeroaviário e dutoviário, no Brasil, conforme o Plano Nacional de Logística, destaca-se o modal rodoviário, que apresenta uma predominância significativa, representando 65% da matriz de transporte nacional.

Em relação a essa posição de importância no transporte de bens de consumo e de pessoas, existem constantes ações de órgãos gestores voltados para a inspeção, avaliação, conservação, recuperação, ampliação, modernização e construção de novas rodovias, tendo como base as demandas da sociedade no segmento de transporte.

Das vias de transporte rodoviário, um percentual elevado encontra-se nas vias de uma só pista, de padrão técnico modesto, pavimentadas ou não, que promovem a integração demográfica e territorial, contribuem nas demandas sociais regionais, no escoamento da produção da agroindústria e contribuem na melhoria da renda per capita do setor primário, principalmente.

As estradas vicinais, que representam a maior parte da malha do Sistema Viário Terrestre Nacional, desempenham papel vital na conectividade de comunidades rurais, no desenvolvimento econômico regional e no acesso a bens e serviços essenciais.

Durante a construção da estrada vicinal PB-033, Rio Tinto/PB até o entroncamento com a PB-035, próximo à Praia de Campina, administrada pelo DER/PB, foi identificado que, em certos trechos, havia comunidades com habitações de estrutura vulnerável. Devido a essa condição, inferiu-se que tais habitações não suportariam os efeitos da compactação realizados por rolos compactadores para a execução da superestrutura de projeto original, com revestimento em Tratamento Superficial Duplo (TSD). Por essa razão, nas vias urbanas nessas comunidades, a concepção do projeto de superestrutura foi alterada para pavimento em paralelepípedos.

Este trabalho objetiva avaliar se as habitações com estruturas vulneráveis sofreriam danos físicos decorrentes da energia de compactação do rolo compactador pé de carneiro, tomando como área de pesquisa a comunidade lindeira de Taberaba (Rio Tinto/PB), onde as residências se encontram próximas ao traçado da estrada. Para atingir esse objetivo, foi realizado o monitoramento das Velocidades de Pico de Partículas (PPVs) gerada pelo rolo compactador pé de carneiro em diferentes distâncias, utilizando o aplicativo SD: iDynamics, da

University of Kaiserslautern – Alemanha, para medir a aceleração por meio de *smartphones*. Os valores obtidos foram comparados com os critérios estabelecidos pela norma alemã DIN 4150-3, com vistas a determinar a possibilidade de ocorrência de danos e validar a pertinência da alteração na concepção da superestrutura do pavimento na comunidade de Taberaba.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar os efeitos da compactação nas habitações lindeiras de uma rodovia vicinal classe IV-B; tomando como área de estudo a rodovia vicinal PB-033 no trecho compreendido entre as estacas E862 e E872, localizado na comunidade de Taberaba, em Rio Tinto/PB.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever sobre as rodovias vicinais e os mecanismos e efeitos da compactação do solo pelo rolo pé de carneiro;
- Realizar medições de campo da PPV, em diferentes distâncias, em relação ao rolo pé de carneiro (fonte geradora), utilizando o *software* iDynamics;
- Comparar os valores obtidos com os critérios estabelecidos pela norma alemã DIN 4150- 3;
- Inferir a possibilidade de danos físicos nas habitações lindeiras da PB-033, na região de estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O desenvolvimento das estradas ao longo da história reflete a evolução das sociedades e a crescente complexidade de suas interações. De trilhas naturais, vias carroçáveis, estradas de terra, estradas revestidas de pedras naturais, estradas revestidas de pedras aparelhadas, estradas asfaltadas, estradas revestidas com concreto de cimento Portland até as misturas SMA - *stone matrix asphalt* (asfalto de matriz de pedra), CPA (camada porosa de atrito) e GAP GRADED (vazios graduados – com agregado graduado, filler e asfalto borracha), principalmente, tem-se a evolução qualitativa dos revestimentos, afora os avanços na capacidade de volume de tráfego

passando pela via de pista simples, de pista simples com terceira faixa, de pista dupla e as multipista com multifaixas.

Essas evoluções contribuíram no surgimento de sistemas de transportes tecnologicamente avançados que moldaram o curso da história, promovendo uma melhor comunicação entre culturas, impulsionando os segmentos do comércio, da indústria e de serviços, contribuindo no crescimento e desenvolvimento da sociedade.

Para essas mudanças, a pesquisa acadêmica, as normatizações e as ações de órgãos gestores no fazer da manutenção de vias existentes e na expansão da malha viária, em resposta às demandas da sociedade, têm papel de importância.

No universo do Sistema Viário de Transporte Terrestre, esses significativos avanços qualitativos das rodovias ocupam espaços nas principais vias que interligam importantes centros de produção e centros de consumo. Em grande parte do território nacional, predominam as rodovias de modesta classificação técnica, com função social e econômica local, contribuindo na integração e na relação de trocas de comunidades afins.

Investimentos dirigidos para a melhoria da malha rodoviária tem sido preocupação de gestores nos diferentes níveis de jurisdição, principalmente no âmbito estadual, o que é o caso da PB-033, em razão da sua presença com fontes de produção do setor primário e do setor de turismo (demandas reprimidas) e sua ligação com a rodovia federal BR-101, caminho natural de escoamento de produção e de abertura das demandas do setor terciário da economia.

3.1 RODOVIAS E ESTRADAS

A diferença entre rodovias e estradas geralmente está associada à características como extensão, função e capacidade de tráfego. Por definição, o Código de Trânsito Brasileiro (CTB) apresenta a diferenciação de estradas e rodovias, a partir da natureza da superfície de rolamento:

- Estrada – via rural não pavimentada (CTB, p.102);
- Rodovia – via rural pavimentada (CTB, p.106).

O DETRAN/PR (2005, p. 40) explica que vias rurais são vias abertas à circulação pública, principalmente em áreas rurais.

Popularmente as estradas recebem designações mais abrangentes. As rodovias são caracterizadas por serem vias de alta velocidade e asfaltadas, podendo apresentar três tipos de configurações: rodovias simples, rodovias duplas e rodovias múltiplas.

Enquanto as estradas são caracterizadas por serem vias mais simples, podendo ou não ser asfaltadas, e por apresentar uma concepção mais simples elas não são projetadas para comportar o tráfego de muitos veículos (Novaes, 2022, p. 26).

3.2 A INFLUÊNCIA DAS ESTRADAS NA ECONOMIA BRASILEIRA

A infraestrutura de transportes de uma nação é fundamental para o desenvolvimento de sua economia como um todo. É através dela que pessoas, bens e serviços são conectados, de maneira a garantir a divisão do trabalho e o bom funcionamento da sociedade (Naves, 2022, p.14). Naves (2022, p.19) enfatiza que,

No Brasil tem-se um total de 1.720.909 km de rodovias. Apesar disso, somente 213.500 km são de rodovias pavimentadas, correspondendo a 12,4% do total conforme dados da Confederação Nacional de Transportes – CNT. Verifica-se, portanto, que a malha rodoviária brasileira é em sua grande maioria não pavimentada.

O transporte é o principal responsável pelos fluxos de bens, de forma eficaz e eficiente, desde um ponto fornecedor até os destinos pretendidos. Por isso, constitui uma grande parcela dos custos logísticos dentro da maioria das empresas e possui participação significativa na formação do PIB das nações (Albano, 2016).

O transporte rodoviário é atualmente o mais utilizado no Brasil, contando com cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da movimentação de passageiros (CNT, 2022).

A predominância do transporte rodoviário no Brasil evidencia a importância das rodovias para o desenvolvimento econômico do país, uma vez que está atrelado a esse sistema modal.

3.3 CLASSIFICAÇÃO DA GESTÃO

Segundo o Manual de Implantação Básica de Rodovia do DNIT (2010, p. 40), a gestão de rodovias e estradas no Brasil é uma responsabilidade compartilhada entre diferentes entidades e esferas governamentais. Essas vias são administradas por órgãos federais, estaduais e municipais, além de particulares.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) é o órgão responsável pela administração das rodovias federais e atua na manutenção, construção e ampliação da malha rodoviária federal. A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) desempenha o papel de reguladora das atividades de exploração da infraestrutura rodoviária federal. Sua responsabilidade inclui fiscalizar a execução dos contratos de concessão das

rodovias federais entregues à iniciativa privada. Nos níveis estadual e municipal, os Departamentos de Estradas de Rodagem (DER) e as Secretarias Municipais de Transporte, ou órgãos equivalentes, desempenham as funções de gestão e manutenção das estradas e rodovias em suas respectivas esferas de influência.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DAS RODOVIAS

Conforme o Manual de Implantação Básica de Rodovia do DNIT (2010, p. 40), existem basicamente quatro critérios para a classificação das rodovias, sendo eles:

3.4.1 Quanto à sua administração ou jurisdição: as rodovias podem ser federais, estaduais, municipais e particulares.

3.4.2. Quanto à sua classificação funcional:

- Arteriais: compreendem as rodovias cuja função principal é propiciar mobilidade;
- Coletoras: englobam as rodovias que proporcionam um misto de funções de mobilidade e acesso;
- Locais: abrangem as rodovias cuja função principal é oferecer condições de acesso.

3.4.3. Quanto às suas características físicas: as rodovias podem ser não pavimentadas, pavimentadas, com pistas simples ou duplas.

3.4.4 Quanto ao seu padrão técnico:

No âmbito rodoviário, as rodovias com características técnicas semelhantes são agrupadas em classes definidas pelos mesmos elementos de projeto. Para atender ao uso específico de cada rodovia, são estabelecidas categorias funcionais de acordo com as funções que exercem (Antas, 2010, p. 10). Segundo Antas (2010, p. 11), as rodovias podem ser categorizadas nas seguintes classes:

- **Classe 0:** Rodovia do mais alto padrão, via expressa com mais de uma pista, todos os cruzamentos em desnível, total controle de acesso e bloqueio total de pedestres;

- **Classe I-A:** Rodovia de pista dupla com controle parcial de acesso, destinada a situações em que, com pista simples em terreno plano ou ondulado, o nível de serviço seja inferior a C, e em terreno montanhoso ou fortemente ondulado, nível de serviço inferior a D;
- **Classe I-B:** Rodovia de pista simples de elevado padrão, prevista para volume de tráfego inferior ao exigido pela Classe I-A e superior a 200 veículos horários bidirecionais ou um volume médio diário bidirecional de 1400 veículos mistos;
- **Classe II:** Rodovia de pista simples, projetada para atender volume médio diário bidirecional de 700 a 1.400 veículos mistos;
- **Classe III:** Rodovia de pista simples, projetada para atender volume médio diário bidirecional de 300 a 700 veículos mistos;
- **Classe IV:** Rodovia de pista simples com apenas revestimento primário; caso o volume médio diário bidirecional seja superior a 100 veículos ou a precipitação pluviométrica anual exceda 1500 mm, deve ser avaliada economicamente a necessidade de pavimentação. Compreende a Classe IV-A, para volume médio diário entre 50 e 200 veículos, e a Classe IV-B, para volume médio diário inferior a 50 veículos.

3.4 ESTRADAS VICINAIS

Segundo o Manual Básico de Rodovias e Estradas Vicinais (DER/SP, p. 15), as vicinais são, em geral, estradas municipais, pavimentadas ou não, de uma única pista, com caráter local e de padrão técnico modesto, compatível com o tráfego que as utiliza. As vicinais pavimentadas são chamadas de rodovias vicinais, enquanto as não pavimentadas são denominadas estradas vicinais.

O termo vicinais está associado às estradas de terra não pavimentadas, desprovidas de revestimento asfáltico ou de concreto de cimento Portland e que podem ou não, terem recebido algum tipo de revestimento primário (Cruz, 2005, p.7).

Segundo Thomaz (1984), as rodovias e estradas vicinais estão classificadas na Classe IV devido ao seu padrão técnico. A Figura 1 ilustra uma estrada vicinal, enquanto a Figura 2 apresenta uma rodovia vicinal.

Figura 1 - Estrada vicinal.



Fonte: Silva Filho (2023)

Figura 2 - Rodovia vicinal.



Fonte: Silva Filho (2023)

3.5 COMPACTAÇÃO DO SOLO

A compactação de um solo é a sua densificação por meio de equipamento mecânico, geralmente um rolo compactador, embora, em alguns casos, como em pequenas valetas, até soquetes manuais possam ser empregados (Pinto, 2006, p. 77). Segundo Pinto (2006, p.77),

A compactação é empregada em diversas obras de engenharia, como os aterros para diversas utilidades, as camadas constitutivas dos pavimentos, a construção de barragens de terra, preenchimento com terra do espaço atrás de muros de arrimo e reenchimento das inúmeras valetas que se abrem diariamente nas ruas das cidades. O tipo de obra e de solo disponível vão ditar o processo de compactação a ser empregado, a umidade em que o solo deve se encontrar na ocasião e a densidade a ser atingida, com o objetivo de reduzir futuros recalques, aumentar a rigidez e a resistência do solo, reduzir a permeabilidade etc.

A compactação trata-se de uma operação simples e de grande importância pelos seus consideráveis efeitos sobre a estabilização de maciços terrosos, relacionando-se, intimamente, com os problemas de pavimentação e barragens de terra. A compactação de um solo visa melhorar suas características, não só quanto à resistência, mas, também, nos aspectos: permeabilidade, compressibilidade e absorção d'água (Caputo, 1995, p. 172).

3.6 ROLOS COMPACTADORES

O rolo compactador é uma máquina projetada para compactar diferentes tipos de solos. Ele consiste em um cilindro giratório que é tracionado por um trator e possui um eixo central com excêntricos (Lokcenter, 2024). O eixo é acionado por um motor hidráulico que gira em alta velocidade, gerando a vibração característica.

A vibração gerada pelo movimento excêntrico do eixo é transmitida para o solo ou material a ser compactado. A compactação ocorre à medida que o cilindro rola sobre a superfície. A pressão e a vibração ajudam a expelir o ar presente entre as partículas do solo, aumentando a densidade e a estabilidade.

3.7.1 Rolo liso

O rolo compactador liso é um equipamento amplamente utilizado na construção civil e em obras de infraestrutura, principalmente na compactação de solos e materiais de pavimentação. É caracterizado pelo cilindro frontal liso e contínuo, que exerce pressão

uniforme sobre a superfície a ser compactada. O rolo é especialmente indicado para a compactação de solos arenosos.

O rolo liso, ou rolo tandem é um equipamento dotado de tambores que realizam a compactação de forma estática ou vibratória. Nas camadas de pavimento como a sub-base e a base, a presença de solos granulares ou arenosos implica na utilização dos rolos lisos para a compactação dessas camadas, de forma vibratória, em parceria com os rolos de pneus ou pé-de-carneiro vibratório. Nas camadas de revestimento asfáltico, o rolo liso atua no nivelamento, de forma estática, e não vibratória (Campitelli, 2024, p. 65).

A Figura 3 ilustra um rolo liso.

Figura 3 - Rolo liso compactador



Fonte: DYNAPAC (2024)

3.7.2 Rolo de pneus

O rolo compactador de pneus é um equipamento utilizado para a compactação de solos e revestimentos asfálticos. Esse tipo de rolo é caracterizado pelo uso de pneus infláveis.

O rolo de pneus, ou rolo pneumático, é constituído por uma plataforma metálica, apoiada em dois eixos com pneumáticos de pressão regulável. Para melhor cobertura do terreno a ser compactado, as rodas dos eixos são desencontradas em seu alinhamento, de maneira que as do eixo traseiro correm nos espaços deixados pelas rodas do eixo dianteiro. Em pavimentação, esse tipo de rolo é utilizado principalmente na compactação dos revestimentos asfálticos (Campitelli, 2024, p. 64).

A Figura 4 ilustra um rolo de pneus.

Figura 4 - Rolo de pneus



Fonte: DYNAPAC (2024).

3.7.3 Rolos pé de carneiro

Rolos compactadores de pata, também conhecidos como rolos pé de carneiro, são rolos que tem o cilindro com patas, proeminências que formam um relevo na circunferência do rolo. A função das patas é penetrar superficialmente no solo para aumentar a área de contato. Isso faz com que a coesão entre as partículas seja quebrada, o que favorece a evaporação para que o material possa ser compactado (Armac, 2024). Esse equipamento é adequado para solos argilosos. A Figura 5 apresenta um rolo pé de carneiro.

Figura 5 - Rolo pé de carneiro.



Fonte: DYNAPAC (2024)

3.8 CONTROLE DE COMPACTAÇÃO NA EXECUÇÃO DE ESTRADAS

Um dos métodos correntes de avaliação da compactação no solo é o método do frasco de areia (NBR 7185:2016). Esse método consiste em se determinar a massa específica do solo, *in situ*, com emprego de um frasco de areia.

Em síntese, a condução do ensaio ocorre, a princípio, se determinando a massa de um conjunto de frasco com areia confinada por um registro e funil metálico, e a massa da areia correspondente ao volume do funil. A areia presente no interior do frasco deve ser lavada, fresca, ter a massa específica conhecida e diâmetros dos grãos compreendidos entre 1,2 mm e 0,59 mm. Em seguida, deve-se abrir um furo de 15 cm de profundidade e 12 cm de diâmetro em solo plano com o auxílio de uma bandeja quadrada, rígida e metálica contendo um furo de 12 cm de diâmetro no centro. Finalizada a escavação, deve-se medir a massa de solo retirada do terreno. Uma parte do material escavado deve ser armazenado e devidamente vedado para posterior determinação do teor de umidade. Instala-se o conjunto de frasco com areia e funil de modo que o funil se apoie na bandeja e abre-se o registro para que a areia preencha o interior do furo escavado. Logo após, se determina a massa final do frasco após a saída da areia.

A partir das informações coletadas, a norma NBR 7185:2016 apresenta o cálculo da massa específica aparente do solo *in situ* pela equação (1):

$$\rho_d = \rho_{areia} \times \frac{M_d}{M_{10}} \times \frac{100}{100 + w} \quad (1)$$

Onde,

ρ_d é a massa específica aparente seca, do solo *in situ*, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

ρ_{areia} é a massa específica aparente da areia, expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

M_d é a massa do solo extraído da cavidade no terreno, expressa em gramas (g);

M_{10} é a massa da areia que preenche a cavidade do terreno, expressa em gramas (g);

w é o teor de umidade do solo extraído da cavidade do terreno, expresso em porcentagem (%).

O teor de umidade do solo pode ser encontrado pelo método da frigideira. A umidade (w) de um solo como sendo a razão entre o peso da água contida num certo volume de solo e o peso da parte sólida existente neste mesmo volume, expressa em porcentagem (Caputo, 1995, p. 39). Por meio da premissa, esse método utiliza os parâmetros da massa do solo úmido e a massa do solo seca, após submetida a um fogareiro até a constância da massa. O teor de umidade é calculado através da equação (2).

$$w = \frac{M_d}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

Onde,

M_s é a massa do solo seco, expressa em gramas (g).

Os métodos apresentados têm por finalidade a obtenção dos valores do teor de umidade e massa específica seca após a compactação no campo. Com estes dados, é possível compará-los com os ensaios de compactação realizados em laboratório e, então, conferir se a compactação *in situ* está de acordo ou não com o esperado (Almeida, 2017, p. 33).

Conforme Almeida (2017, p.33), os ensaios em campo são efetuadas após o término da compactação de cada camada. Com isso, calcula-se o Grau de Compactação (GC) e Desvio de umidade (Δw), conforme as equações (3) e (4).

$$GC = \frac{\rho_d \text{ in situ}}{\rho_{dm\acute{a}x} \text{ em laborat\acute{o}rio}} \times 100\% \quad (3)$$

$$\Delta w = w - w_{\acute{o}timo} \quad (4)$$

Após os ensaios de compactação, procede-se ao ensaio do índice de Califórnia (ISC) (DNIT 172/2016 - ME). Com o método, procura-se determinar a resistência do solo comparando com as propriedades mecânicas da brita padrão. Ele é o principal método de avaliação da resistência do solo para o dimensionamento de pavimentos.

Em suma, o ensaio é realizado em três etapas:

- Moldagem do corpo de prova: a moldagem é feita através de golpes para que haja a compactação das amostras, estas preferencialmente devem ter teores de umidades diferentes;
- Expansão: Os corpos de prova já moldados devem ser submersos em água por no mínimo de 96 horas e devem ter as expansões medidas por um extensômetro, a cada 24 horas;
- Penetração: após o período de imersão, o corpo de prova é drenado naturalmente por 15 minutos. Em seguida, leva-se o corpo de prova para a prensa onde será rompido através da penetração de um pistão cilíndrico com a aplicação de uma carga de 45 N e com uma velocidade de 1,27 mm/min.

Os dados obtidos com o ensaio podem proporcionar a concepção de uma estrutura economicamente viável, conservada à potenciais manifestações patológicas vinculadas à capacidade de suporte e expansões potenciais do solo.

3.9 VIBRAÇÕES MECÂNICAS

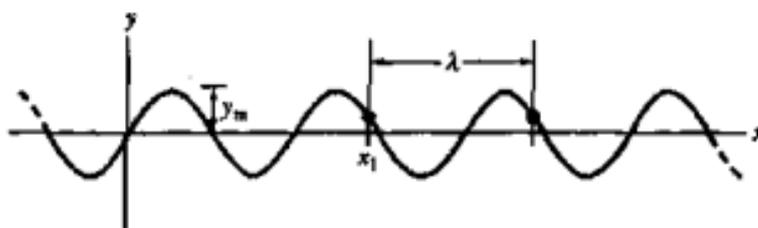
Vibração é todo movimento repetitivo de um corpo ou sistema de corpos interligados em torno de um ponto de equilíbrio (Hibbeler, 2005, p. 496). Segundo Halliday e Resnick (1993, p.112) as ondas mecânicas têm como características serem regidas pelas leis de Newton e necessitarem de um meio físico para existirem. São exemplos: ondas sísmicas, marítimas e

sonoras. Todas as vibrações que requerem um meio material para se propagar são ondas mecânicas. As vibrações podem ser de dois tipos:

- Vibração livre: aquela que ocorre quando o movimento se mantém por forças gravitacionais ou elásticas, como por exemplo, um pêndulo simples ou a vibração de uma barra elástica. (Hibbeler, 2005, p. 496);
- Vibração forçada: aquela que é gerada por uma força externa periódica ou intermitente aplicada ao sistema (Hibbeler, 2005, p. 496). São exemplos: vibrações causadas por pessoas, máquinas, tráfego, vento etc.

O estudo das vibrações mecânicas está associado aos movimentos oscilatórios (Savi e Paula, 2017, p.1). Halliday e Resnick (1993, p.113) demonstram de maneira simplificada os elementos de uma onda senoidal (Figura 6). Eles ratificam que através dela é possível se compreender qualquer outro tipo de onda:

Figura 6- Elementos de uma onda senoidal.



Fonte: Halliday e Resnick (1993).

Halliday e Resnick (1993, p. 113-114) descrevem os elementos de uma onda: o comprimento de onda (λ) é a distância ao longo do eixo x na qual a forma da onda começa a se repetir; a amplitude (y_m) é a magnitude do deslocamento máximo do elemento em qualquer uma das direções; o período (T) é o intervalo de tempo após o qual o movimento do elemento oscilante se repete; e a frequência (f) é o número de oscilações por unidade de tempo realizadas em um dado ponto, à medida que a onda passa por ele.

As ondas podem ser classificadas de acordo com suas direções de propagação:

- Ondas unidimensionais: são aquelas que se propagam em uma única direção. Como exemplo, pode-se citar uma onda longitudinal que se propaga em uma mola presa em

uma extremidade ou uma onda produzida numa corda longa e tracionada (Evaristo, 2020, p. 39);

- Ondas bidimensionais: são aquelas que se propagam em um plano, ou seja, qualquer direção de propagação pode ser descrita através de duas direções principais. Para esse tipo de onda, tem-se, como exemplo, as ondas na superfície da água, bem como as ondas estacionárias formadas nas membranas de um instrumento de percussão (Evaristo, 2020, p. 39);
- Ondas tridimensionais: são aquelas que se propagam no espaço, ou seja, qualquer direção de propagação pode ser descrita através de três direções principais (Evaristo, 2020, p. 40). Tem-se como exemplo o som e a luz.

Ressonância é a tendência de um corpo oscilar com maior amplitude em uma determinada frequência, conhecida como frequência natural ou frequência de ressonância. Quando um corpo é exposto a uma frequência que se aproxima de sua frequência natural, ele assume uma amplitude de oscilação maior, que pode comprometer sua integridade.

A frequência natural é uma característica particular de um corpo em vibração livre. Representa o quanto à estrutura vibra quando não há força aplicada sobre ela. Esta frequência é função direta da rigidez, e inversa da massa da estrutura, sendo designada por um número real positivo, e cuja unidade mais comum é o Hertz (Congresso Nacional de Matemática Aplicada à Indústria, 2014, n.p.).

Caso a frequência de ressonância da estrutura da edificação seja similar à frequência de propagação da onda vibratória, haverá amplificação do deslocamento do solo, ocasionando um impacto indesejado (Evaristo, 2020, p. 29).

O amortecimento de uma onda é um fenômeno físico no qual a energia associada à onda é gradualmente dissipada ao longo do tempo ou distância percorrida. Isso resulta na redução da amplitude da onda à medida que ela se propaga. Silva e Beck (2012) explicam o conceito de amortecimento como o fenômeno onde há a dissipação de energia mecânica, provocada pelo atrito, em calor ou som.

A norma BS 7385-2 (British Standard, 1993, p. 3), afirma que o melhor elemento para correlacionar a ocorrência de danos em edificações induzidos por vibrações é a velocidade da partícula de pico (PPV). A NBR 9653:2005 a define como o máximo valor instantâneo da velocidade de uma partícula em um ponto durante um determinado intervalo de tempo, considerado como sendo o maior valor dentre os valores de pico das componentes de velocidade de vibração de partícula para o mesmo intervalo de tempo (ABNT, 2005, p.2).

3.10 DANOS FÍSICOS EM EDIFICAÇÕES RESULTANTES DE VIBRAÇÕES

A propagação de ondas vibratórias pelo rolo compactador liso ocorre quando este entra em contato com o solo e aplica uma força de compressão. Essa força é transmitida através de ondas mecânicas que se propagam em todas as direções.

Chaves et al (2009, *apud* Evaristo, 2020, p. 30) explica que a propagação das ondas vibratórias no solo é influenciada por seu tipo e que decaem principalmente com o aumento da distância, já que, desta forma, há um incremento de área na frente de onda, reduzindo a densidade energética.

A recepção da energia vibratória dá-se prioritariamente pelas fundações das edificações, que são as responsáveis por descarregar sua carga estrutural no solo e assim garantir a estabilidade. Dessa forma, pelo efeito inverso, as ondas vibratórias que eventualmente se propagam no solo induzirão um deslocamento na fundação, o qual, por sua vez, a transmitirá para a estrutura, para piso e paredes, e assim por diante (Brito et al, 2013, p. 130).

Brito et al (2013, p.129) afirmam que construções com materiais menos resistentes, quando sujeitas a elevados níveis de vibração, podem sofrer desde trincas estéticas até danos estruturais irreversíveis.

De acordo com Patrício (2000, *apud* Evaristo, 2020, p. 32), “a aproximação de rodovias das edificações é uma situação recorrente em todo o Brasil, o que é problemático, uma vez que aproxima a fonte de vibração do receptor, reduzindo a distância percorrida pela onda, que é a principal forma de atenuação da energia vibratória. Segundo ele, no Brasil, não há uma normatização específica para avaliar essa situação, sendo utilizados, portanto, padrões internacionais que nem sempre se adaptam à realidade nacional”.

3.11 NORMATIZAÇÃO

As normas vigentes em diversos países, inerentes às vibrações, são concordantes em admitir que os danos estruturais se correlacionam com a amplitude das ondas sísmicas presentes e que, entre as grandezas físicas que as caracterizam, as velocidades vibratórias são as que melhor se ajustam à referida correlação (Gama, 1998, n.p).

Evaristo (2020, p. 49) destaca que no Brasil ainda não existem normas que abordem o nível admissível de vibração causadas pelo tráfego e equipamentos. Como resultado, a norma mais utilizada no país com valores de referência para estudos com esse fim é a norma alemã DIN 4150-3.

Evaristo (2020, p. 49) ainda sugere a elaboração de uma normativa brasileira sobre vibrações em edificações que reflita as especificidades do país e as características construtivas das edificações brasileiras.

3.11.1 Norma ABNT 6118:2023

A norma NBR 6118:2023 (2023, p. 195) recomenda que no dimensionamento de estruturas deve-se distanciar a frequência natural da estrutura (f_n) da frequência crítica (f_{crit}), sendo esta em razão da destinação da edificação. Impondo a relação contida na equação (5):

$$f_n > 1,2f_{crit} \quad (5)$$

A norma NBR 6118:2023 (2023, p. 196) também recomenda as frequências críticas para alguns casos especiais, conforme Figura 7. No caso de estruturas que sofrem ação de vibrações de máquinas, ela afirma que a frequência crítica passa a ser a de operação da máquina.

Figura 7 – Frequências críticas para alguns casos especiais, conforme NBR 6118:2023.

Caso	f_{crit} Hz
Ginásio de esportes e academias de ginástica	8,0
Salas de dança ou de concerto sem cadeiras fixas	7,0
Passarelas de pedestres ou ciclistas	4,5
Escritórios	4,0
Salas de concerto com cadeiras fixas	3,5

Fonte: ABNT (2023).

Nos casos especiais, e naqueles em que os requisitos dessa subseção não puderem ser atendidos, deve ser feita uma análise dinâmica mais acurada, conforme estabelecido em Normas Internacionais, enquanto não existir Norma Brasileira específica (ABNT, 2023, p.196).

3.11.2 Norma Alemã DIN 4150-3

A norma alemã DIN 4150-3 fornece valores limites de referência para vibrações e defende que, caso não sejam ultrapassados, não são verificados efeitos adversos na funcionalidade das estruturas (Veneroso et al, 2020, p. 7). Essa norma é aceita em toda comunidade europeia como norma padrão. Muitos países europeus desenvolveram suas próprias normas, baseando-as na DIN 4150 ou relacionando-as a ela (Bacci et al, 2003, p. 52).

Ela fornece os valores limites de velocidade de vibração de partículas, em mm/s, considerando o tipo de estrutura civil e o intervalo de frequência, em Hz; e classifica as edificações em três tipos: Edificações bem estruturadas (Prédios, Indústrias, etc.); Edificações normais e; Edificações sensíveis (XX Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia, 2020, p. 7).

A Figura 8 traz os limites de vibrações preconizadas pela norma DIN 4130-3.

Figura 8 – Limites de vibrações de curta duração em edificações.

Line	Type of structure	Guideline values for velocity, v_i , in mm/s			
		Vibration at the foundation at a frequency of			Vibration at horizontal plane of highest floor at all frequencies
		1 Hz to 10 Hz	10 Hz to 50 Hz	50 Hz to 100 Hz*)	
1	Buildings used for commercial purposes, industrial buildings, and buildings of similar design	20	20 to 40	40 to 50	40
2	Dwellings and buildings of similar design and/or occupancy	5	5 to 15	15 to 20	15
3	Structures that, because of their particular sensitivity to vibration, cannot be classified under lines 1 and 2 and are of great intrinsic value (e.g. listed buildings under preservation order)	3	3 to 8	8 to 10	8

*) At frequencies above 100 Hz, the values given in this column may be used as minimum values.

Fonte: DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1999).

3.12 ACELERÔMETROS

Acelerômetros são dispositivos de sensoriamento utilizados para medir a aceleração de um objeto em relação a uma estrutura de referência inercial.

3.12.1 Acelerômetros Piezoelétricos

Um acelerômetro piezoelétrico é um tipo de transdutor que utiliza o efeito piezoelétrico.

A piezoeletricidade é uma propriedade de alguns materiais que, através de uma tensão mecânica, se tornam eletricamente polarizados, o que chamamos de efeito direto, e o contrário também é possível, quando colocado em uma diferença de potencial (DDP), sofrem uma deformação mecânica (Perlingeiro, Pimenta e Silva, 2016, p. 10).

Em suma, a piezoeletricidade é um fenômeno no qual certos materiais, conhecidos como materiais piezoelétricos, geram uma carga elétrica proporcional à quando são submetidos a uma pressão mecânica.

O funcionamento do dispositivo se dá pela conversão da tensão gerada pelo material por um circuito eletrônico que transforma o sinal em dados que podem ser interpretados pelo utilizador. A Figura 9 apresenta um acelerômetro piezoelétrico.

São transdutores de aceleração que, em geral, utilizam um cristal piezoelétrico, colocado entre a cobertura da cabeça do sensor e a massa sísmica do sensor. Esse transdutor, ao ser submetido a uma aceleração, a massa exerce, por inércia, uma força (deformação) no cristal e a diferença de potencial que aparece entre os terminais preso ao cristal é proporcional à aceleração medida. Os sensores de aceleração piezoelétrico medem a aceleração absoluta do movimento (Evaristo, 2020, p.47).

Figura 9 - Acelerômetro piezoelétrico



Fonte: Tecnoferramentas (2024)

3.12.2 Aplicativo iDynamics da Universidade de Kaiserslautern – Alemanha

O aplicativo iDynamics, desenvolvido pela Universidade de Kaiserslautern, é uma ferramenta voltada para fins educacionais e de pesquisa, especialmente nas áreas de engenharia civil e mecânica. O aplicativo permite realizar medições de vibrações e análises de identificação de sistemas utilizando os acelerômetros integrados de dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*.

De acordo com a *University of Kaiserslautern* (2024), seu funcionamento começa com a medição das vibrações: os dados dos sensores são registrados e exibidos em um diagrama temporal de aceleração, enquanto o espectro de frequência correspondente é mostrado paralelamente ao sinal temporal. Além disso, os dados são apresentados de forma tabular para uma análise mais detalhada.

A análise das medições é realizada clicando no botão “*Evaluate*”. O aplicativo apresenta as máximas acelerações, frequências e velocidades, além de um gráfico de velocidade. O próprio iDynamics compara os resultados obtidos com as normas vigentes na Alemanha, incluindo a norma DIN 4150-3, informando se os valores estão dentro dos limites permitidos por essas normas.

Para resultados mais precisos, o aplicativo ainda permite outras opções de pós processamento na guia “pós processamento”, sendo elas:

- Filtragem: onde são implementados algoritmos de filtros passa-alta, passa-faixa e passa-baixa com características *Butterworth*;
- Suavização: onde são implementados algoritmos de suavização de 5 pontos, que calcula a média dos quatro valores mais próximos.

3.13 HABITAÇÕES RURAIS

No contexto brasileiro, as habitações rurais se estendem por uma vasta diversidade de estilos arquitetônicos e materiais de construções. Essa diversidade é moldada por diversos fatores, como condições climáticas, meios financeiros, disponibilidade de recursos na região, arranjos familiares e heranças culturais.

No interior do Nordeste, os métodos construtivos mais utilizados além da tradicional alvenaria de tijolos com elementos estruturais (fundação, vigas e pilares), são a taipa, o pau a pique, o adobe e a estrutura apenas de tijolos. Estes métodos, que se distinguem pelo uso de

materiais naturais disponíveis na região e pela construção manual, são suscetíveis e suportam cargas limitadas além de apresentar uma infraestrutura física sensível.

Segundo o Sistema Básico de Saúde (2015), em dezembro de 2014 o município de Rio Tinto – PB, contava com 6.955 habitações, sendo destas 1.289 de taipa, representando 18,53% das residências na cidade. Na comunidade de Taberaba, observou-se uma prevalência de estruturas apenas de tijolos.

As Figuras 10, 11, 12 e 13 apresentam tipos de estruturas encontradas na Paraíba.

Figura 10 - Casa de adobe na Paraíba.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 11 - Casa de Taipa em comunidade indígena em Baía da Traição/PB.



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 12 - Casa de tijolos sem elementos estruturais em Taberaba, Rio Tinto/PB.



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 13 – Casa com estrutura de tijolos com revestimento argamassado, em Rio Tinto/PB.



Fonte: Autoria Própria (2024)

4 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho se insere em um estudo de caso amparado por pesquisas documentais, bibliográficas, abordagens quantitativas, medições de campo, análise de dados e conclusão.

A pesquisa se caracteriza:

- Quanto à classificação: empírica de campo;
- Quanto à abordagem: quantitativa;
- Quanto à tipologia: comparativa, utilizando um estudo de caso.

O estudo de caso abrange seis etapas: pesquisa bibliográfica sobre estradas vicinais e compactação; análise do projeto viário; levantamento situacional e de estrutura física das edificações; aferições ondulatórias de equipamentos compactadores; e análise comparativa com as normas vigentes.

Lakatos e Marconi (2003, p.174) afirmam que o primeiro passo de qualquer pesquisa científica é a realização de pesquisas documentais e bibliográficas.

Seguindo a metodologia preconizada por Lakatos e Marconi, o estudo iniciou-se com essas pesquisas. As fontes primárias compreendem documentos fornecidos pelo DER/PB, enquanto as fontes secundárias abrangem manuais, normas técnicas, livros, monografias, dissertações, teses, entre outras referências.

Lakatos e Marconi (2003, p. 186) também ressaltam que as pesquisas em campo devem definir as técnicas de coleta de dados e amostragem a serem utilizadas assegurando que estas sejam representativas para fundamentar as inferências.

As pesquisas aconteceram através do levantamento situacional e da aferição com acelerômetros de possíveis impactos ambientais. O levantamento situacional consistiu na coleta de dados observáveis e mensuráveis sobre as edificações: a distância entre elas e o traçado da estrada, e suas condições estruturais. A aferição com acelerômetros consistiu na medição da vibração do solo com o equipamento durante a trajetória do rolo compactador. A coleta das informações ocorreu por meio de visitas técnicas à obra da estrada vicinal PB-033.

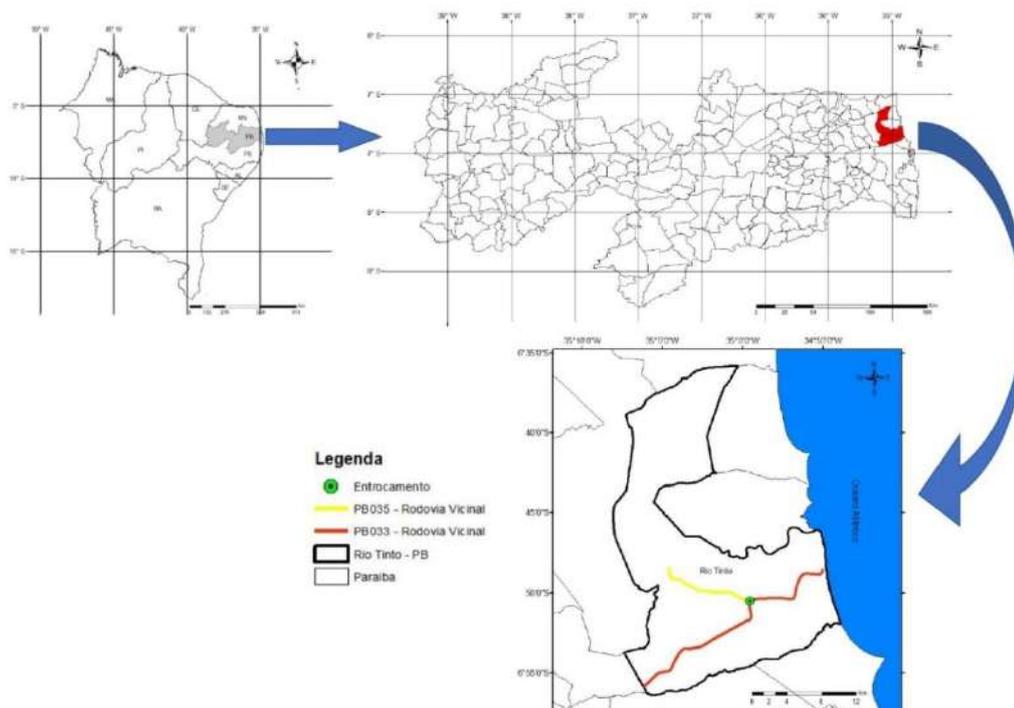
A análise dos dados foi realizada comparando as informações obtidas a partir do levantamento e da aferição com a capacidade de suporte das edificações, conforme a norma alemã DIN 4150-3.

5 ESTUDO DE CASO

O estudo foi desenvolvido no município de Rio Tinto/PB, o qual se encontra na microrregião norte da Paraíba. Localizado nas coordenadas geográficas de latitude 6° 48' 21" sul e longitude 35° 4' 33" oeste. Segundo o IBGE (2022), possui uma população estimada em 24.581 pessoas, área territorial de 465,240 km² e uma frota total de 7.520 veículos. A cidade conta ainda com uma significativa população de indígenas e descendentes.

A estrada vicinal analisada é a PB-033, no trecho de Praia de Campina, entroncamento à PB-035, que possui aproximadamente 20,83 km de extensão e interliga o centro da cidade de Rio Tinto à Praia de Campina. A Figura 14 ilustra a localização geográfica da estrada.

Figura 14 - Localização geográfica do município de Rio Tinto e das estradas vicinais PB-033 e PB-035

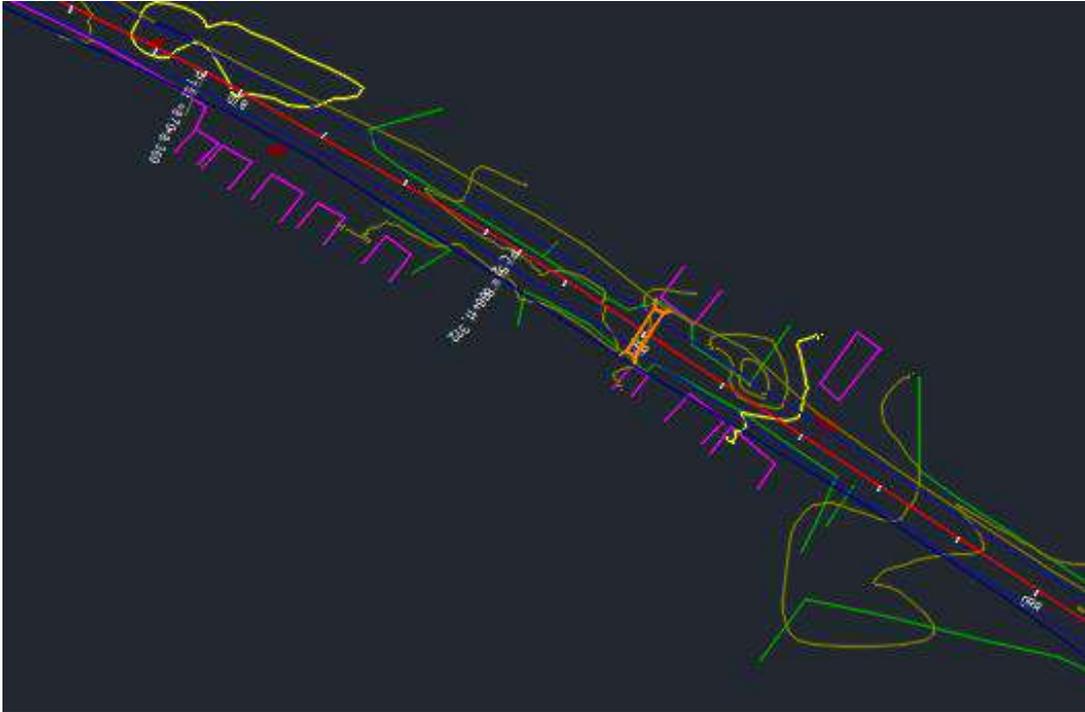


Fonte: Autoria Própria (2023).

A concepção da estrada visa superar, principalmente, os efeitos do regime de chuvas que acarretam dificuldade de tráfego na região no período de março a setembro. A estrada trará benefícios econômicos e sociais para a região, uma vez que interligará zonas urbanas, rurais e turísticas, acessando o corredor rodoviário da BR-101. Ademais, atenderá às necessidades da comunidade local, proporcionando acesso às atividades sociais e educacionais, comércio, bens e serviços, além de ser um importante caminho para o transporte da produção da agroindústria familiar, principalmente a produção de cana de açúcar.

O trecho estudado, entre a E862 e a E872, totalizando 200 m de extensão, apresenta a comunidade lindeira de Taberaba, que motivou a mudança do pavimento original do projeto para paralelepípedo devido a possibilidade de danos físicos às edificações pelo uso de rolos compactadores. As moradias na região são frequentemente caracterizadas por estruturas apenas de tijolos, sendo estas extremamente suscetíveis a danos por vibrações. O trecho tem seu início nas coordenadas geográficas $6^{\circ}49'49''S$ $35^{\circ}02'45''W$, finalizando nas coordenadas $6^{\circ}49'46''S$ $35^{\circ}02'52''W$. O solo da região é areno argiloso, com lençol freático próximo a superfície do solo. A Figura 15 ilustra o traçado da via no trecho analisado. A Figura 16 exibe imagem de satélite da área, com o fim da pavimentação asfáltica na rodovia PB-033 e o trecho estudado, que será pavimentado posteriormente com paralelepípedos.

Figura 15 – Traçado da via no trecho analisado, compreendido entre a E862 e E872.



Fonte: Documentos do DER/PB (2023).

Figura 16 - Imagem de satélite da área objeto de estudo. Data da imagem: 02/04/2024.



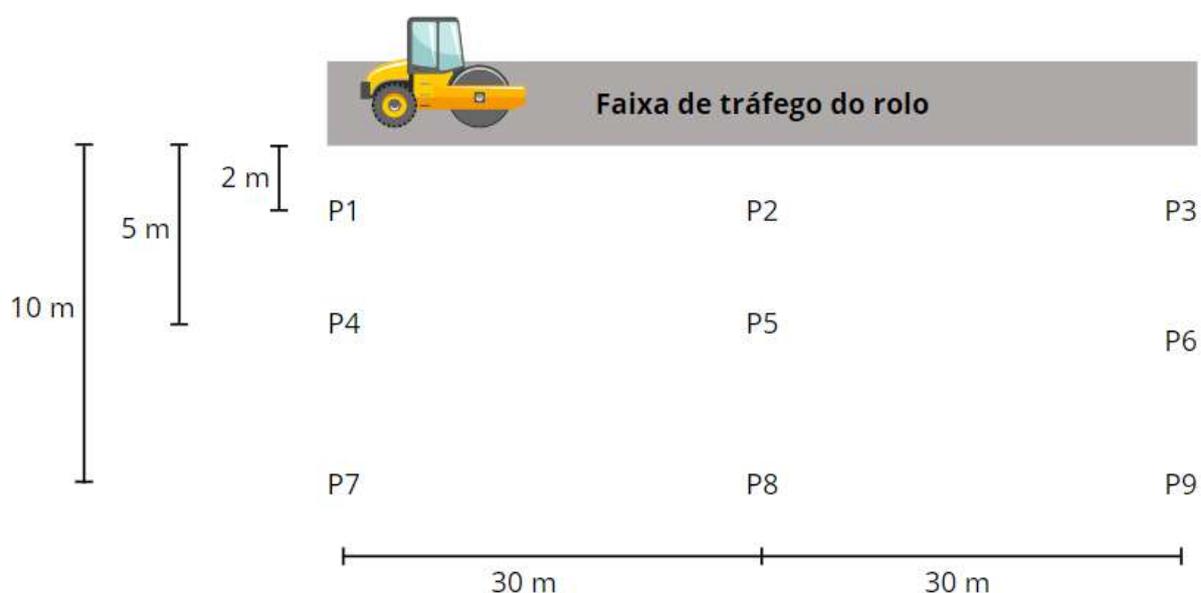
Fonte: Google Earth, 2024.

5.1 MEDIÇÕES

5.1.1 Métodos

As medições foram conduzidas em uma área 801 m distante da área de estudo, com solo equivalente, utilizando três smartphones equipados com o aplicativo iDynamics. A área de medição era composta por um campo de 60 m x 10 m, onde um rolo pé de carneiro se deslocava em uma faixa de tráfego enquanto realizava o procedimento de compactação. Foram realizadas medições em três setores distantes 30 m entre si, onde os pontos de medição se distavam 2 m, 5 m e 10 m da faixa de tráfego do rolo, conforme Figura 17.

Figura 17 - Representação dos pontos de medição mediante a faixa de tráfego do rolo pé de carneiro



Fonte: Autoria Própria (2024).

O procedimento de medição ocorreu durante visita técnica na data 15 de julho de 2024, no período das 10 h às 12 h, consistindo da medição das PPV diretamente no solo, tal método foi corroborado pelo estudo apresentado no XX Congresso Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia (2020) em que monitoraram as vibrações do tráfego diretamente no terreno, representando a fundação das edificações. Iniciou-se com a marcação dos pontos onde as medições seriam realizadas, para isso, utilizou-se uma trena para medição das distâncias. A figura 18 retrata como foi efetuada essa etapa. Após a marcação de cada ponto, foi realizada a

regularização do terreno a fim de deixar a superfície planificada para a operação de medição. Os pontos foram georreferenciados e as coordenadas de cada ponto se encontram no Quadro 1. A Figura 19 mostra um dos pontos sendo georreferenciado com o GPS. A figura 20 ilustra a locação dos pontos. O equipamento fonte geradora do estudo (Figura 21) é um dos que operam na obra de pavimentação da rodovia.

Figura 18– Determinação dos pontos a partir das distâncias com o auxílio da trena.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 19 – Ponto marcado e georreferenciado.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 20 - Ilustração da locação dos pontos.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 21– Rolo compactador pé de carneiro utilizado na pesquisa.



Fonte: Autoria Própria (2024).

Quadro 1 - Coordenadas geográficas dos pontos de medição

Coordenadas geográficas dos pontos de medição (UTM)				
Ponto	Faixa	Fuso	Longitude	Latitude
P1	M	25	0271636	9245856
P2	M	25	0271628	9245850
P3	M	25	0271622	9245877
P4	M	25	0271627	9245881
P5	M	25	0271641	9245860
P6	M	25	0271661	9245830
P7	M	25	0271657	9245826
P8	M	25	0271649	9245821
P9	M	25	0271613	9245870

Fonte: Autoria Própria (2024)

Após a marcação dos pontos, procedeu-se a efetiva medição. Foram realizadas medições simultâneas nos pontos equidistantes à faixa de tráfego, sendo uma durante a ida e outra durante o retorno do rolo pé de carneiro. A Figura 22 mostra o procedimento de medição nos pontos equidistantes P5 e P8 durante a passagem do rolo compactador. Além disso, foram aferidas as vibrações dos três *smartphones* em um mesmo ponto (P1), com o objetivo de estimar o nível de sensibilidade de cada um, nessa etapa o rolo se encontrava em local fixo realizando a compactação. Ao todo foram realizadas 21 medições, sendo 18 relativas a legítima simulação do efeito do rolo compactador pé de carneiro.

Figura 22 - Processo de medição nos pontos de 5 m



Fonte: Autoria Própria (2024)

5.1.2 Equipamentos

Como equipamentos de medição foram utilizados três *smartphones* munidos do *software* iDynamics. O setor de locação, os modelos e os acelerômetros correspondentes se encontram no Quadro 2.

Quadro 2 - Modelo dos smartphones e respectivos acelerômetros

Setor	Modelo	Acelerômetro
1º setor	Motorola G4	3 Axis Accelerometer Bosch
2º setor	Xiaomi Note 9	ICN - 45605
3º setor	Xiaomi Redmi Note 10 Pro	ICM - 45686

Fonte: Autoria Própria (2024)

5.2 LEVANTAMENTO SITUACIONAL

O levantamento situacional das habitações foi realizado no dia 15 de julho de 2024, aferindo fisicamente a distância entre elas e o traçado da estrada, bem como suas condições estruturais. Ao todo foram catalogadas 13 habitações lindeiras. As Figuras 23 e 24 mostram o processo de mensuração feito no local. A catalogação do tipo de estrutura se deu visualmente, onde se constatou que todas as habitações lindeiras consistiam em estrutura construída apenas com tijolos, a Figura 25 apresenta a forma das estruturas do local. Na Figura 26 se encontra a fronteira da pavimentação asfáltica na rodovia, identificada durante o levantamento.

Figura 23 – Processo de aferição da distância das habitações ao traçado da estrada



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 24 – Processo de aferição da distância das habitações ao traçado da estrada



Fonte: Autoria Própria (2024)

Figura 25 – Estrutura apenas de tijolo, tradicional na comunidade Taberaba



Fonte: Aatoria Própria (2024)

Figura 26 - Término da PB-033 revestida com Tratamento Superficial Duplo (TSD) e início do trecho que será pavimentado com paralelepípedos



Fonte: Aatoria Própria (2024)

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados e o tratamento de dados foram realizados no próprio aplicativo através dos recursos nele disponibilizados. O *software* apresenta de forma automática as curvas de aceleração, frequência e velocidade, bem como as maiores grandezas para cada um dos parâmetros. Nesse estudo o comportamento da curva não é relevante, estando apenas as grandezas sujeitas à norma DIN 4150-3, para comparação.

As aferições do primeiro setor (P1, P4 e P7) tiveram que ser descartadas devido ao mau funcionamento do *smartphone* durante a medição. As medições comparativas entre os *smartphones* do segundo e terceiro setores tiveram resultados semelhantes, conforme Quadro 3. A partir da comparação, é possível observar que os smartphones apresentaram níveis de sensibilidade compatíveis.

Quadro 3 - Resultado da medição comparativa

Medições comparativas entre os <i>Smartphones</i>			
Segundo setor		Terceiro Setor	
Frequência máxima (Hz)	PPV(mm/s)	Frequência máxima (Hz)	PPV (mm/s)
29,88	10,4	29,68	11,6

Fonte: Autoria Própria (2024)

Observou-se que em algumas medições houve interferência nos resultados devido à manipulação do aparelho, nos instantes de início e fim, sendo tal manipulação devido aos atos de iniciar e desligar o aplicativo. Tal interferência era facilmente identificada pelo comportamento distinto na curva, conforme Figura 27. Para resultados fidedignos, houve o recorte para a obtenção dos valores apenas nos instantes de tempo em que a aceleração obtida advinha do processo de compactação do rolo. Como os parâmetros derivavam do mesmo componente (acelerômetro), a interferência também prejudica o restante dos resultados.

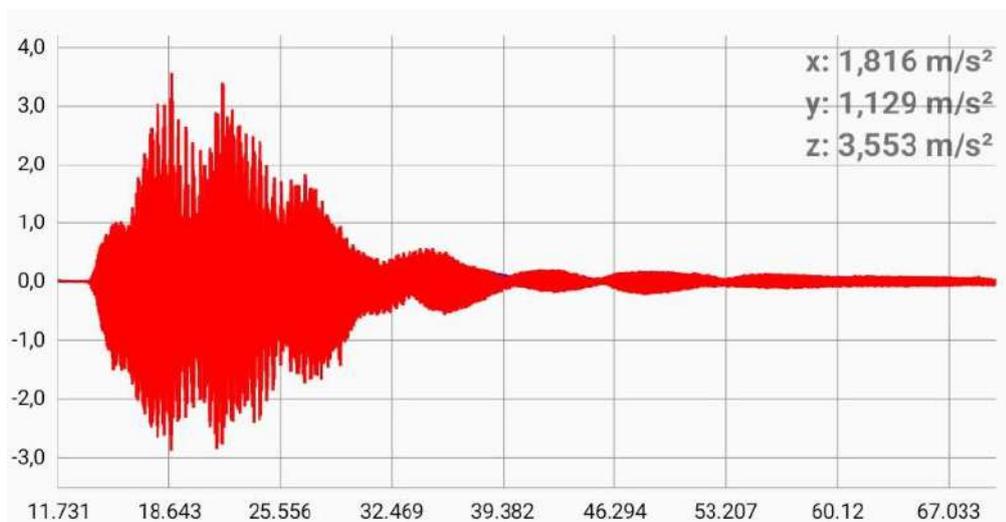
Figura 27– Curva de aceleração no ponto P3 (retorno) contendo comportamento singular no seu início e fim



Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

Na Figura 28 é possível diferenciar o impacto da exclusão da faixa indesejada nos dados.

Figura 28 - Curva de aceleração no ponto P3 (retorno) após recorte



Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

A norma preconiza que deve ser avaliado a PPV (Velocidade de Pico de Partícula) do eixo cujo nível de frequência seja o maior. No Quadro 4 estão as frequências máximas e a PPV relativo ao eixo. Majoritariamente a frequência máxima foi observada no eixo Z, perpendicular ao solo, o que está de acordo com o movimento de aplicação de forças verticais do cilindro do rolo pé de carneiro durante a compactação, porém, nos pontos P6 e P9, observou-se anomalias: as PPVs máximas se encontram em eixo divergente ao que possui maior frequência. Isso pode ter acontecido devido a vários fatores, como a heterogeneidade do solo, posicionamento e orientação dos sensores ou até interferências locais, como presença de pedras grandes ou irregularidades.

Quadro 4 - PPVs e frequências máximas aferidas nos pontos

Ponto	Frequência máxima (Hz)	PPV (mm/s)
P2 (1ª medição)	29,59	18
P2 (2ª medição)	29,78	30,5
P3 (1ª medição)	29,69	17,5
P3 (2ª medição)	31,93	15
P5 (1ª medição)	32,42	15,8
P5 (2ª medição)	32,42	22,5
P6 (1ª medição)	29,98*	2,7*
P6 (2ª medição)	29,58*	3,2*
P8 (1ª medição)	28,79	7,6
P8 (2ª medição)	29,79	3,8
P9 (1ª medição)	29,88	2*
P9 (2ª medição)	29,69	6,2

Fonte: Autoria Própria (2024)

No Quadro 5 se encontram as PPVs máximas nos pontos P6 e P9. Tais PPVs estão em eixos com frequências menores.

Quadro 5 - Pontos anômalos com seus respectivos eixos, frequências e PPV

Ponto	Eixo	PPV (mm/s)
P6 (1ª medição)	z	6,3
P6 (2ª medição)	z	5,7
P9 (1ª medição)	x	3,7

Fonte: Autoria Própria (2024)

Por meio dos dados apresentados nos Quadros 4 e 5, observa-se o efeito do amortecimento das ondas vibratórias: quanto maior a distância da fonte geradora, menores são as Velocidades de Pico de Partícula (PPVs).

As informações referentes às distâncias em relação aos bordos da via, ponto mais próximo da passagem do rolo compactador, e à catalogação do tipo de estrutura das habitações estão reunidas no Quadro 6.

Quadro 6 - Catalogação e levantamento situacional das habitações.

Habitação	Identificação	Estrutura	Distância (m)
	H01	Apenas tijolos	6,70
	H02	Apenas tijolos	2,60

	H03	Apenas tijolos	1,93
	H04	Apenas tijolos	3,30
	H05	Apenas tijolos	3,35
	H06	Apenas tijolos	7,90
	H07	Apenas tijolos	8,31

	H08	Apenas tijolos	8,45
	H09	Apenas tijolos	8,60
	H10	Apenas tijolos	8,35
	H11	Apenas tijolos	2,19
	H12	Apenas tijolos	0,62

	H13	Apenas tijolos	0,60
---	-----	----------------	------

Fonte: Autoria Própria (2024)

A partir da catalogação e do levantamento situacional das habitações, constatou-se que todas as residências no trecho estudado possuem estrutura construída apenas com tijolos. De acordo com a norma DIN 4150-3, essas estruturas são classificadas como sensíveis, sendo capazes de suportar Velocidades de Pico de Partícula (PPVs) máximas entre 3 mm/s e 8 mm/s.

Pelos valores obtidos de PPVs do rolo compactador pé de carneiro, concluiu-se que os limites estabelecidos foram registrados a uma distância de 10 metros da faixa de rolagem. Considerando que todas as habitações estão situadas a distâncias inferiores a essa, o uso do rolo compactador pé de carneiro impactaria todas as residências, ocasionando danos físicos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O atendimento impositivo do traçado de uma estrada vicinal a pontos obrigatórios de passagem de condição, a exemplo da comunidade Taberaba (Rio Tinto/PB) do presente trabalho, chama atenção dos projetistas para ações preventivas de conservação das condições físicas das edificações existentes, principalmente quanto aos impactos ambientais possíveis devido ao processo construtivo. É sabido dos dispêndios dos gestores na recuperação de estruturas avariadas ou até sua integral indenização com consequências jurídicas e até interferências no cronograma de execução da obra, quando não observados os cuidados necessários para se evitar tais demandas.

A mudança na concepção da superestrutura da PB-033, feita pelos projetistas na passagem pela comunidade Taberaba, se revelou como uma ação que veio ao encontro do ato preventivo e necessário. Ademais, a partir dos dados coletados das Velocidades de Pico de Partícula (PPVs) das vibrações geradas pelo rolo compactador e da comparação com os parâmetros na norma DIN 4150-3 foi possível inferir que o DER agiu de forma assertiva ao

optar por não utilizar rolos compactadores no trecho objeto de estudo, visto que o uso acarretaria danos as estruturas das habitações lindeiras.

Quanto ao aplicativo iDynamics, da Universidade de Kaiserslautern – Alemanha, mostrou-se, comparativamente aos acelerômetros piezoelétricos, como um recurso de considerável versatilidade na medida em que, a partir das medições das vibrações, processa esses dados, elabora diagrama temporal de aceleração, apresenta as máximas acelerações, frequências e velocidades, além de um gráfico de velocidade, e compara os resultados obtidos com as normas vigentes na Alemanha, incluindo a norma DIN 4150-3, informando, ao final, se os valores estão dentro dos limites permitidos por essas normas.

A adoção do aplicativo iDynamics possibilitou agregar ao trabalho uma atualização na captura de dados de aceleração, no processamento e pós-processamento, visto poder ser instalado a um dispositivo portátil e universalmente em uso cotidiano - o *Smartphone*.

A ausência de norma nacional sobre o tema, constitui uma lacuna que deve ser preenchida por estudos que levem a publicação de normativas brasileiras, alinhadas com as características construtivas de nossas edificações e aos substratos que as recebem, assim como em outros países que o fizeram tomando por base a norma alemã DIN 4150-3.

REFERÊNCIAS

ALBANO, JOÃO FORTINI. **Vias de Transporte**. 2016. Capítulo 1 - Introdução ao estudo das vias de transporte. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Vias-Transporte-Jo%C3%A3o-Fortini-Albano-ebook> . Acesso em: 11 out. 2023.

ALMEIDA, Felipe Maraschine de. **Energias Para Compactação de Solos Destinados a Estruturas De Pavimentos Asfálticos**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017. Disponível em: [https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19813/1/Energias CompactacaoSolos.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/19813/1/Energias%20CompactacaoSolos.pdf). Acesso em: 17 out. 2023.

ANTAS, Paulo Mendes et ali. **Estradas**: projeto geométrico e de terraplenagem. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

ARMAC. **Rolo compactador: pé de carneiro ou liso, qual preciso?** Disponível em: <https://armac.com.br/blog/maquina/rolos-compactadores> . Acesso em: 21 jul. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

_____. **ABNT NBR 7185**: Solo - Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. **ABNT NBR 9653**: Guia para avaliação dos efeitos provocados pelo uso de explosivos nas minerações em áreas urbanas - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

BACCI, Denise de La Corte *et al.* **Principais normas e recomendações existentes para o controle de vibrações provocadas pelo uso de explosivos em áreas urbanas** – Parte I.

Revista Escola de Minas, v. 56, p. 51-57, mar. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/HjpZhK9BdwdPLryQYVKgxp/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 mar. 2024.

BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro**. Brasília: 2009.

BRITO, L. A.; SOARES, Á. M. DE S.; NAZARI, B. **Vibração**: fonte de incômodo à população e de danos às edificações no meio urbano. *Ambiente Construído*, v. 13, p. 129–141, 1 mar. 2013.

BRITISH STANDART. **BS 7385-2** – Evaluation and measurement for vibration in buildings: Guide to damage levels from ground borne vibration. British Standart. 1993.

CAMPITELLI, M. V. **Pavimentação**. 2024. 158 f. Notas de aula.

CAPUTO. Homero Pinto. **Mecânica dos Solos e Suas Aplicações**: Fundamentos. Rio de Janeiro: LTC. 1995.

CHAVES, G. de A.; V. de A.; LEAL, R. P.; MELO, R. A. de; FARIAS, J. P. de. Faixa de domínio e sua relação com a redução de vibrações produzidas por trens de superfície em áreas urbanas. **TRANSPORTES**, v. 17, n. 39-45, 2009. Disponível em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/74>. Acesso em: 24 fev. 2024.

CONGRESSO NACIONAL DE MATEMATICA APLICADA À INDÚSTRIA, 2014, Caldas Novas. **VIBRAÇÕES: AS FREQUÊNCIAS NATURAIS ESTIMADA E EXPERIMENTAL DE UMA ESTRUTURA [...]**. [S. l.: s. n.], 2014. Disponível em: <https://pdf.blucher.com.br/mathematicalproceedings/cnmai2014/0038.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2024.

CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2022**. 2022. Disponível em: <https://pesquisa.rodovias.cnt.org.br/>. Acesso em: 11 out. 2023.

CRUZ, Adriano Vidigal. **Estradas vicinais: Abordagem pedológica, geotécnica, geométrica e de serventia de dois trechos rodoviários não pavimentados no campus da UFV – MG**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/7781>. Acesso em: 14 out. 2023.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais: Planejamento, projeto, construção e operação**. v.1. São Paulo: 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Implantação Básica de Rodovias**. Rio de Janeiro: 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Norma DNIT 172/2016 – ME – Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostrar não trabalhadas – Método de Ensaio**. DNIT, 2016.

DEPARTAMENTO DE TRÂNSITO DO PARANÁ. **Manual de habilitação**. Paraná:2005. Disponível em: <https://www.detran.pr.gov.br/arquivos/File/habilitacao/manualdehabilitacao>. Acesso em: 16 out. 2023.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 4150-3: Structural Vibration – Part 3: Effects of Vibration on Structures. Deutsches Institut Für Normung: 1999.

DYNAPAC. Compactação. Disponível em: <https://dynapac.com/br-pt>. Acesso em: 03 set. 2024.

GAMA, C. Dinis da. Ruídos e Vibrações Ligados à Utilização dos Explosivos e Equipamentos. *In: 1º Seminário de Auditorias Ambientais Internas*. Lisboa: Instituto Geológico e Mineiro, 1998. Disponível em: <https://pt.scribd.com>. Acesso em: 1 mar. 2024.

GOOGLE. **Google Earth**. Disponível em: <https://www.google.com/earth>. Acesso em: 03 mai. 2024.

HALLIDAY, Daniel; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos da Física 2: Gravitação, Ondas e Termodinâmica**. Rio de Janeiro: LTC, 1993.

HIBBERLER. **Dinâmica: Mecânica para Engenharia**. São Paulo: Pearson, 2010

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2022**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/rio-tinto/panorama>. Acesso em: 20 out. 2023.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M de A. **Fundamentos da Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2003.

LOKCENTER. **Rolo CA 25**. Disponível em: <https://www.lokcenter.com.br/produtos/rolo-ca-25/>. Acesso em: 21 jul. 2024.

NAVES, Vitor Cazula. **Análise comparativa da infraestrutura de transportes brasileira no cenário sul-americano: Panorama atual e desafios futuros**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/242698>. Acesso em: 13 out. 2023.

NOVAES, Bernardo Campos et ali. **E-CAB: mecanismo acionador da bomba de basculamento de cabines**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Centro Universitário FEI, São Bernardo dos Campos, 2022. Disponível em: <https://repositorio-api.fei.edu.br/server/api/core/bitstreams/49ad9f3d-01a6-4776-b1df-eab878d78ce1/content>. Acesso em: 16 out. 2023.

PERLINGEIRO, Antonio Ramos; PIMENTA, Gilberto Maia; SILVA, Salviano Evaristo da. **Geração de Energia Através de Materiais Piezoelétricos**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) -Centro Federal De Educação Tecnológica Celso Suckow Da Fonseca, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: < <https://www.cefet-rj.br/> .> Acesso em: 10 mar. 2024.

PINTO, Carlos de Sousa. **Curso Básico de Mecânica dos Solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

SAVI, Marcelo Amorim; PAULA, Aline Souza de. **Vibrações Mecânicas**. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

SILVA, Renato Molina da; BECK, João Carlos Pinheiro. **Introdução à Engenharia das Vibrações**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2012.

SILVA FILHO, S. F. **Nota de Aula 06 – 2023.1 – 1ª Unidade**. 2023. 7f. Notas de aula.

SISTEMA BÁSICO DE SAÚDE. **Sistema De Informação de Atenção Básica**. 2015. Disponível em: SISAB (saude.gov.br). Acesso em: 03 set. 2024.

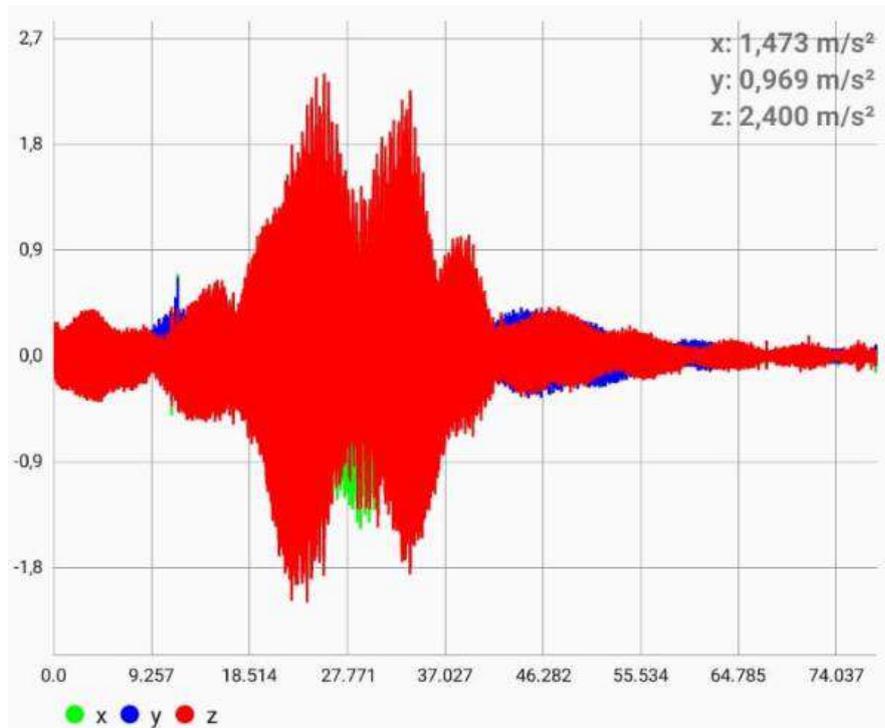
TECNOFERRAMENTAS. Acelerômetro Piezoelétrico. Disponível em: Acelerômetros Omega. Medição da Vibração e Aceleração do Movimento. Acesso em: 03 set. 2024.

UNIVERSITY OF KAISERSLAUTERN. **iDynamics**. Disponível em: iDynamics - Department of Civil Engineering at RPTU. Acesso em: 21 jul. 2024.

XX CONGRESSO BRASILEIRO DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS DE ENGENHARIA, 2020, Salvador. Verificação da Influência de Vibrações Provenientes do Tráfego de Veículos e Equipamentos Pesados em Manifestações Patológicas de Edificações [...] 2020. Disponível em: [IBAPE Nacional - XX Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias \(ibape-nacional.com.br\)](http://ibape-nacional.com.br). Acesso em: 2 mar. 2023

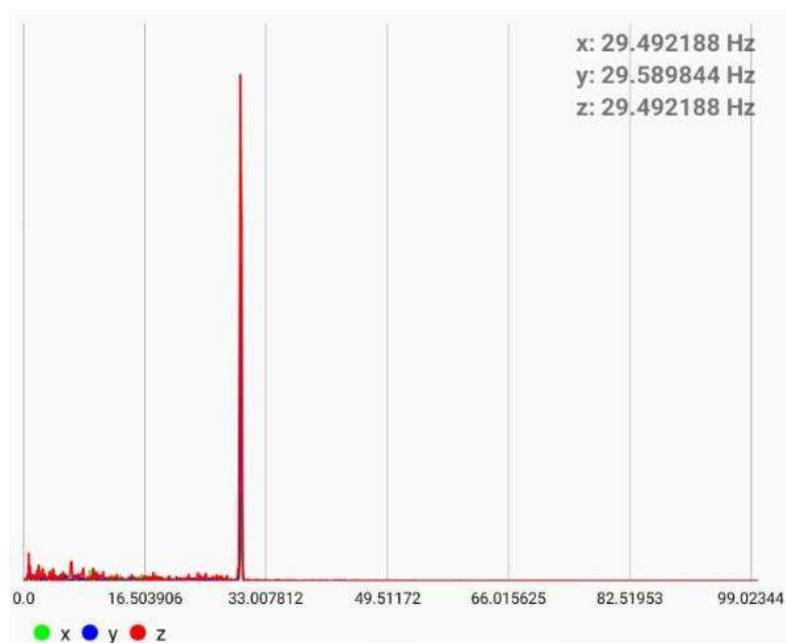
APÊNDICES

ANEXO A – Gráfico de acelerações em P2 – 1ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



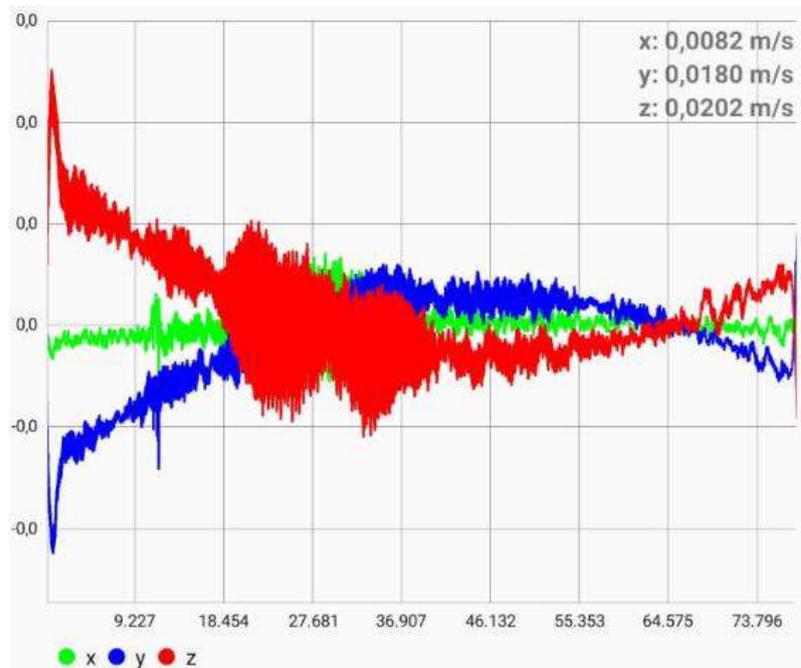
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO B – Gráfico de frequências em P2 – 1ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



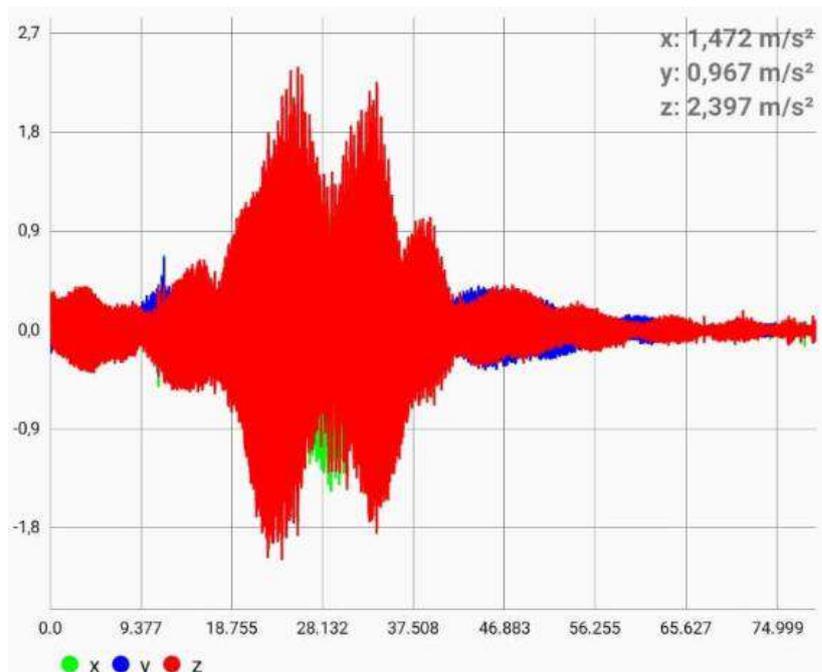
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO C – Gráfico de velocidades em P2 – 1ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



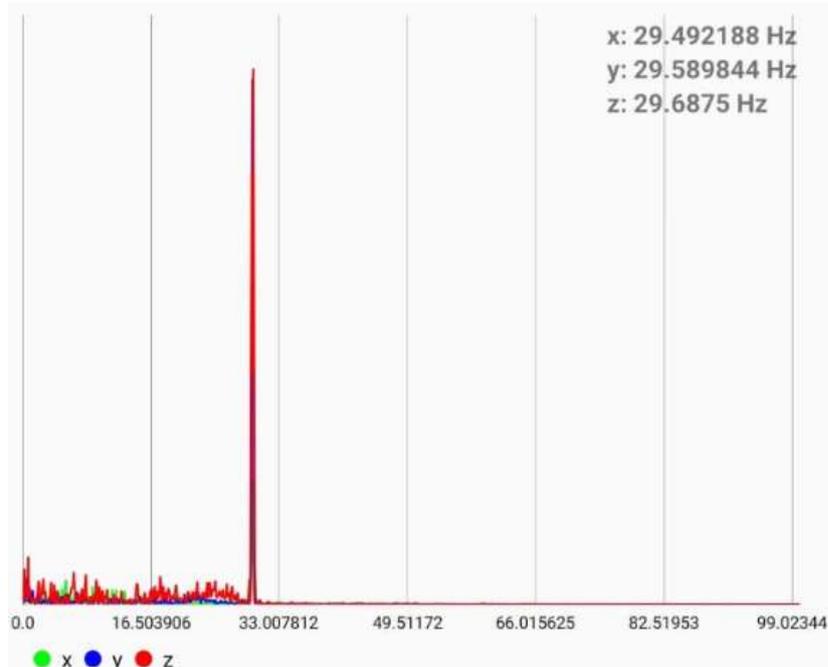
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO D – Gráfico de Aceleração em P2 – 2ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



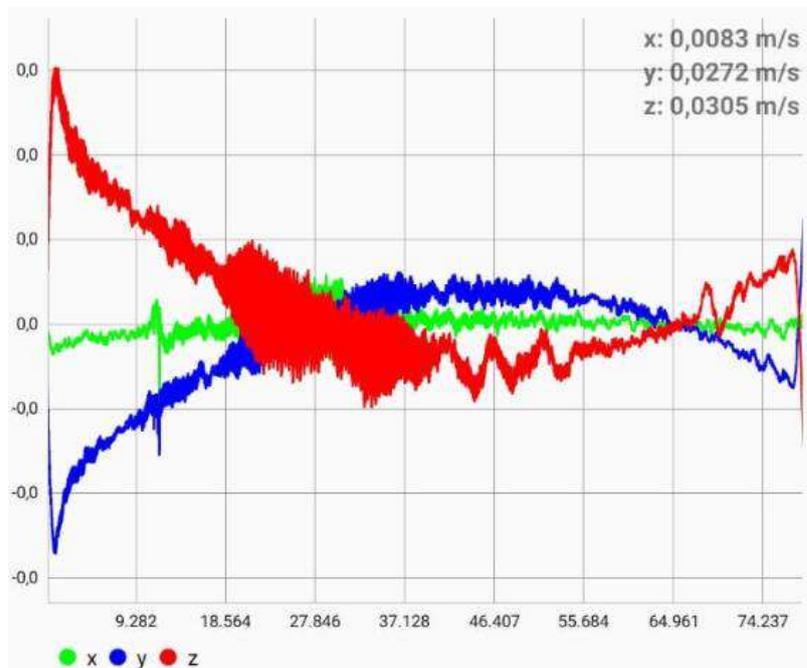
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO E – Gráfico de frequência em P2 – 2ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



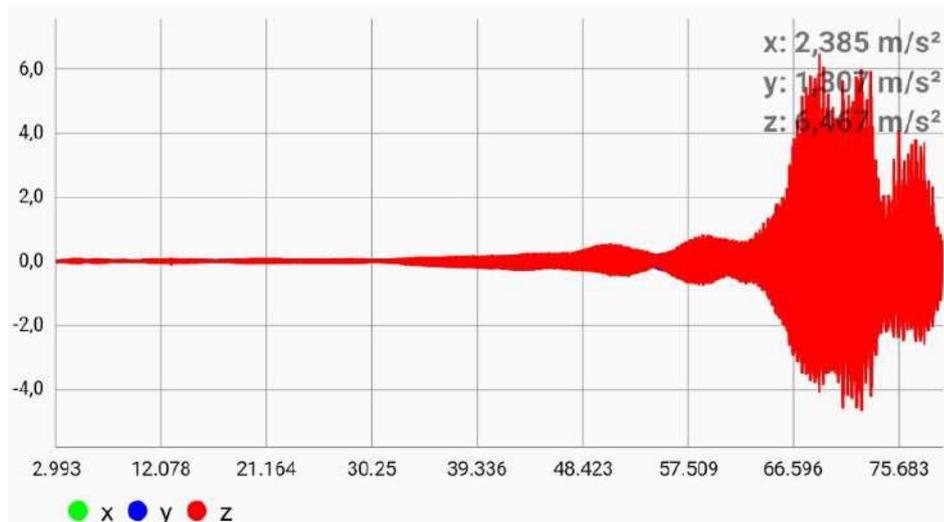
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO F – Gráfico de velocidade em P2 – 2ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



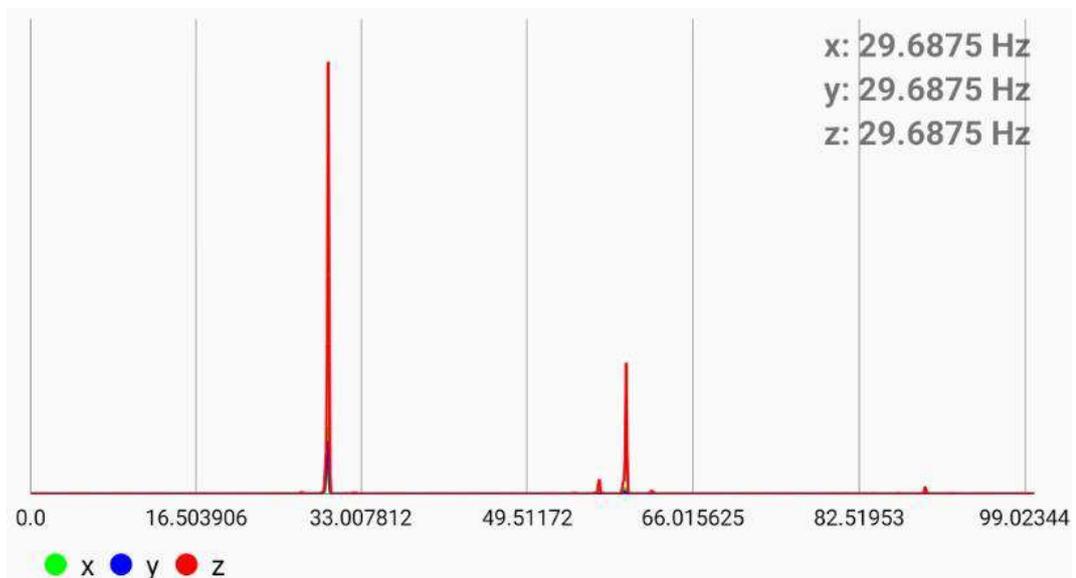
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO G – Gráfico de velocidade em P3 – 1ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



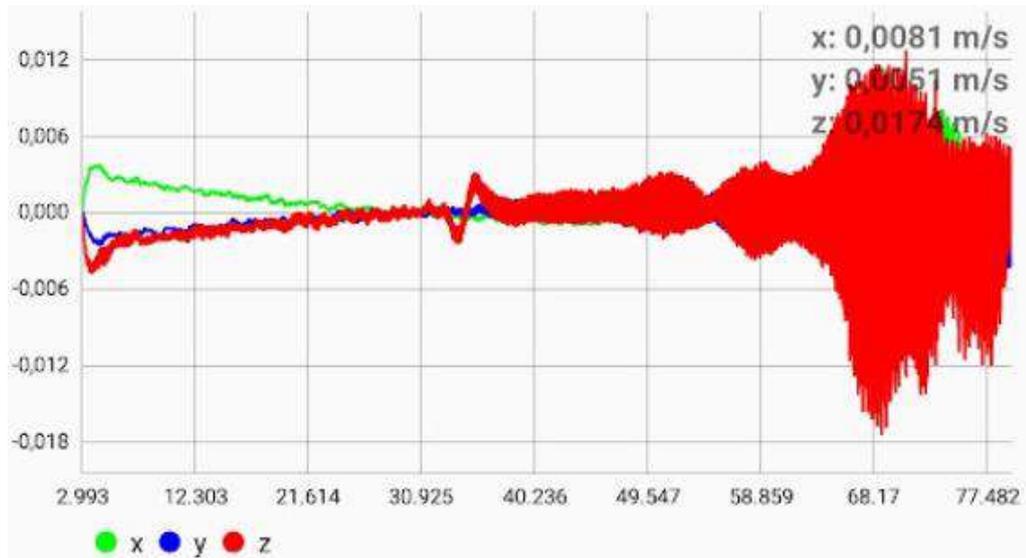
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO H – Gráfico de frequência em P3 – 1ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



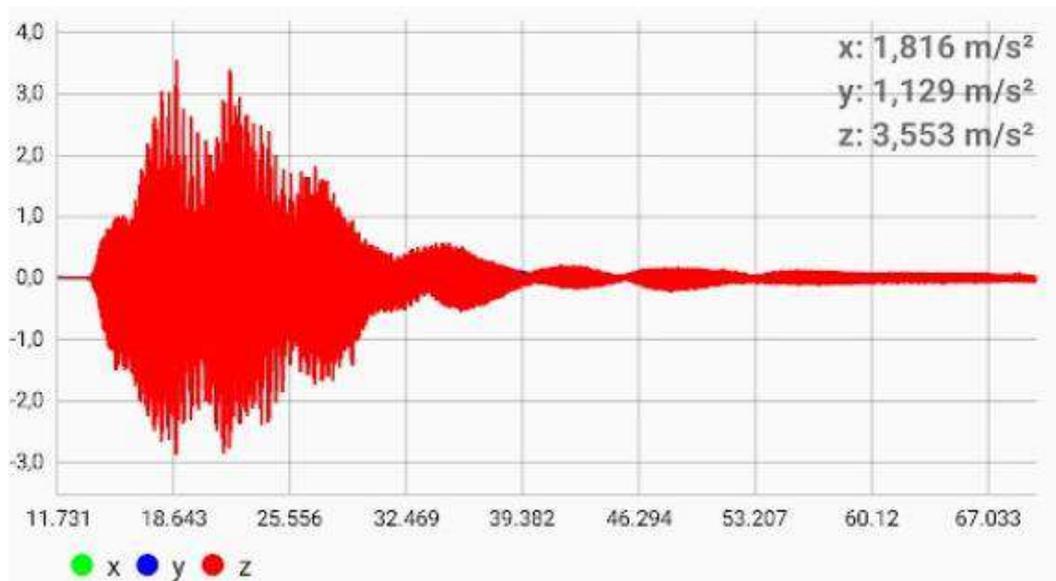
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO I – Gráfico de velocidade em P3 – 1ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



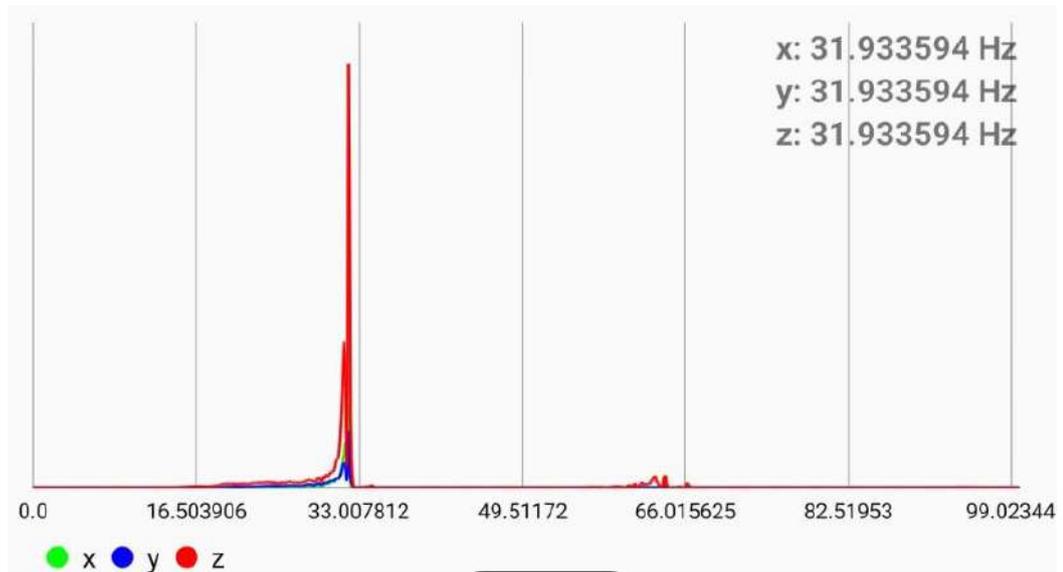
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO J – Gráfico de aceleração em P3 – 2ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.

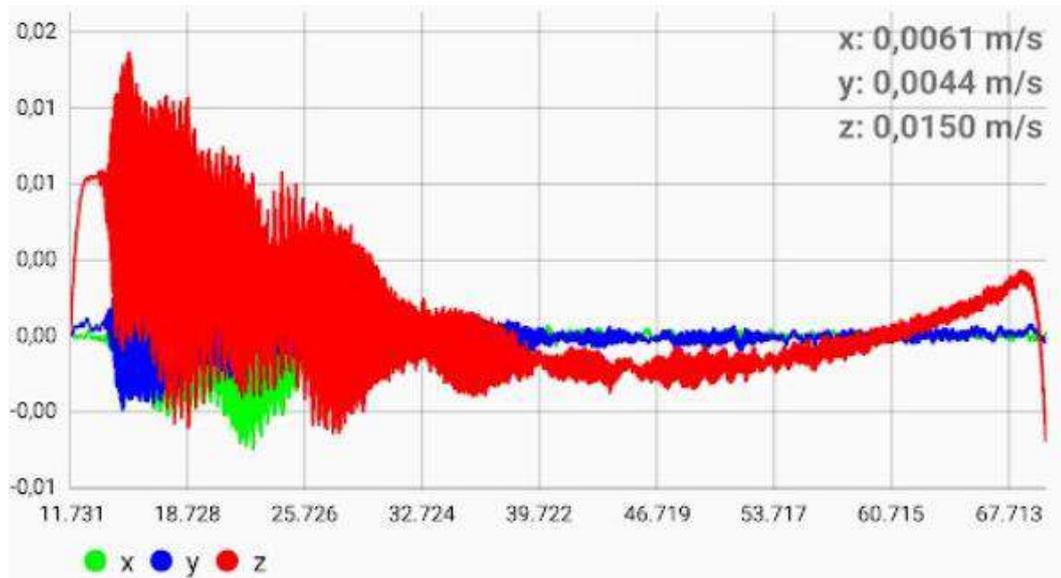


Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

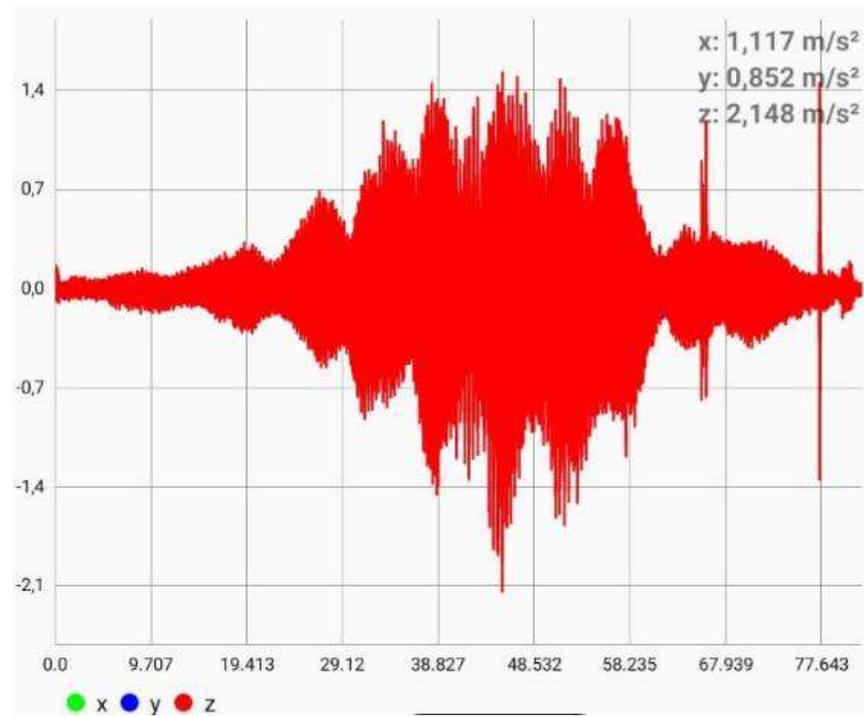
ANEXO K – Gráfico de frequência em P3 – 2ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



ANEXO L – Gráfico de velocidade em P3 – 2ª medição. Distanciamento de 2 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.

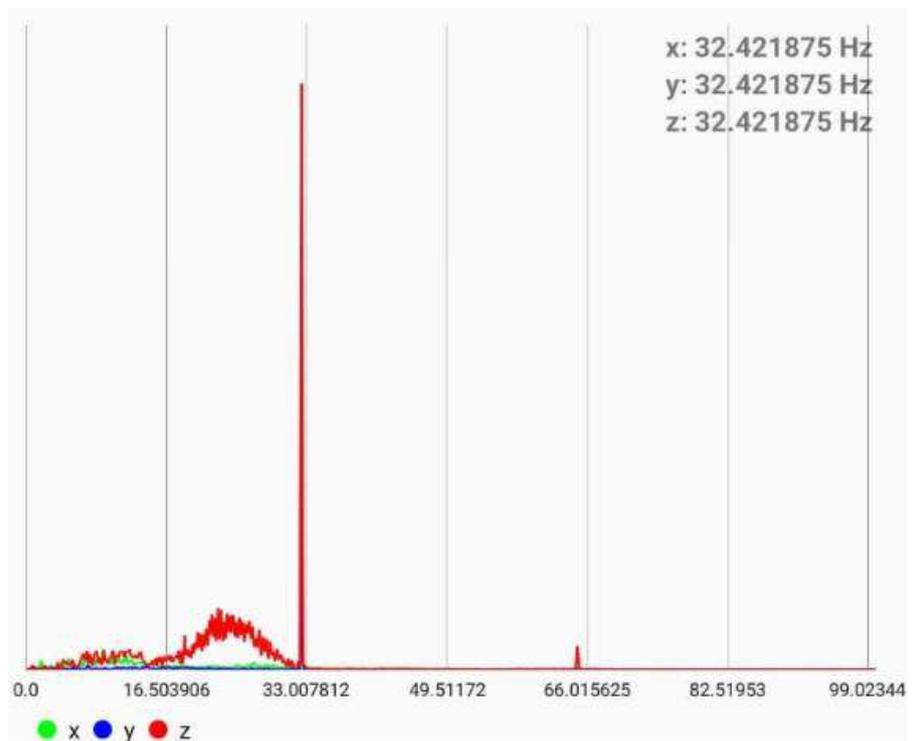


ANEXO M – Gráfico de aceleração em P5 – 1ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



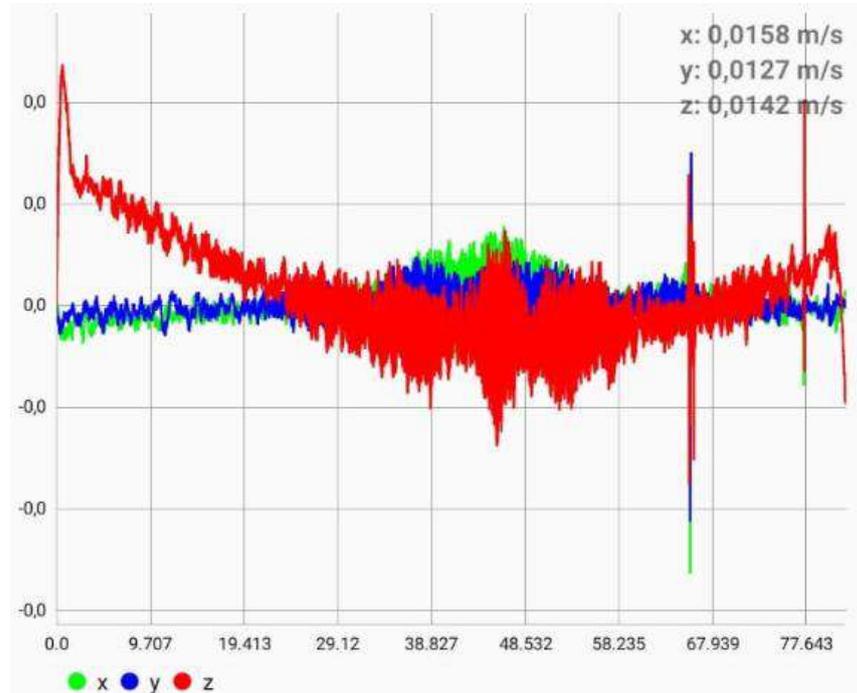
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO N – Gráfico de frequências em P5 – 1ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.

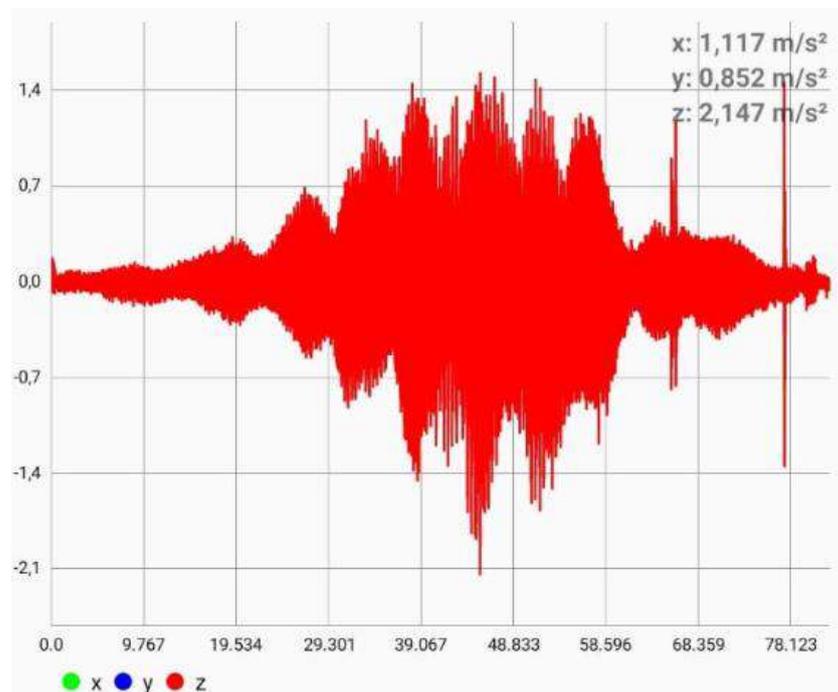


Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

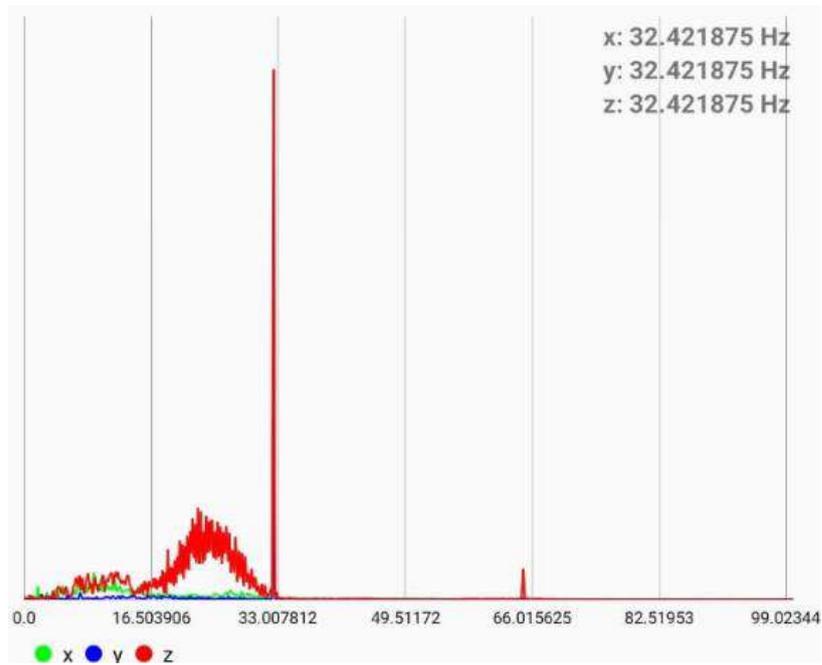
ANEXO O – Gráfico de velocidades em P5 – 1ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



ANEXO P – Gráfico de aceleração em P5 – 2ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.

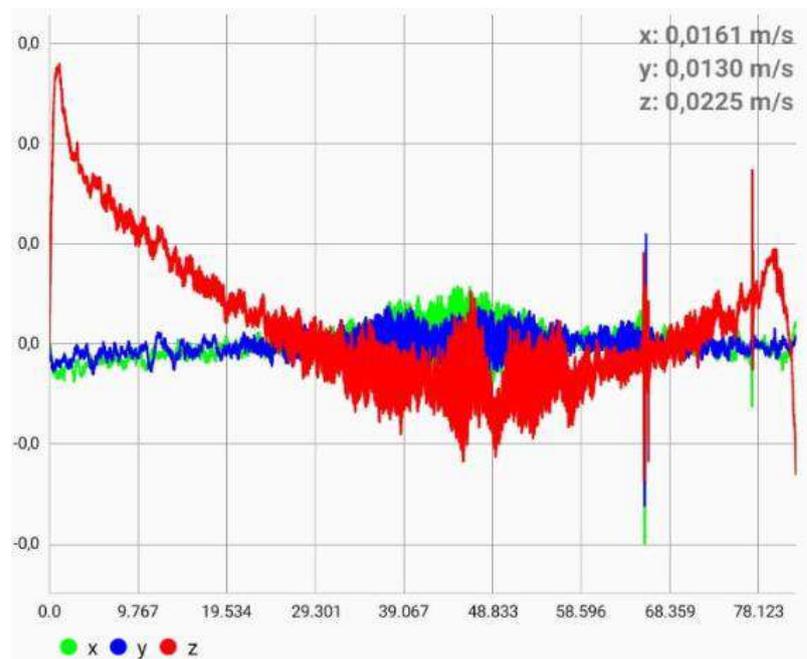


ANEXO Q – Gráfico de frequência em P5 – 2ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



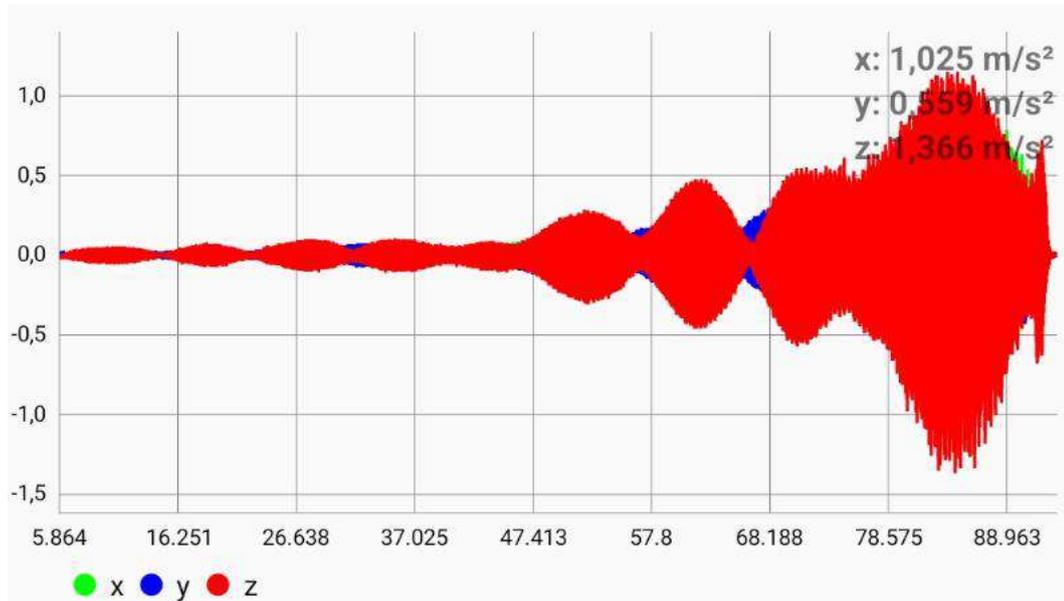
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO R – Gráfico de velocidade em P5 – 2ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



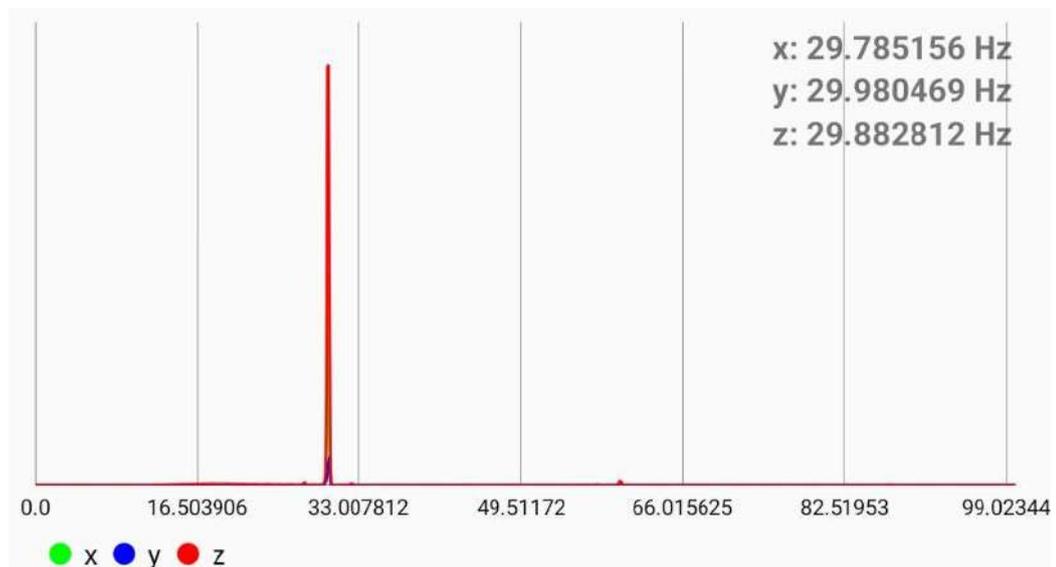
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO S – Gráfico de aceleração em P6 – 1ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



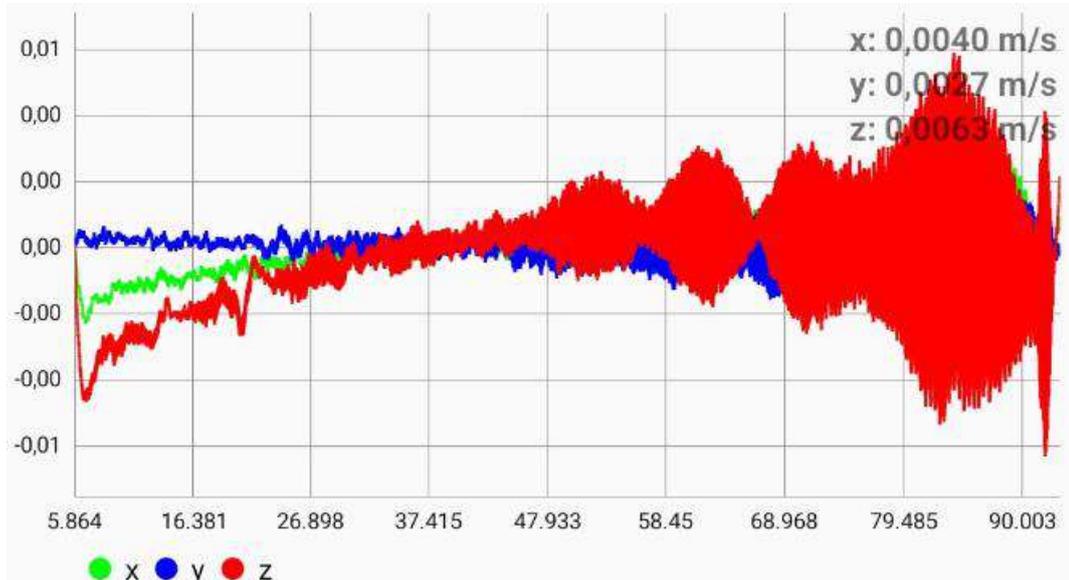
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO T – Gráfico de frequência em P6 – 1ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



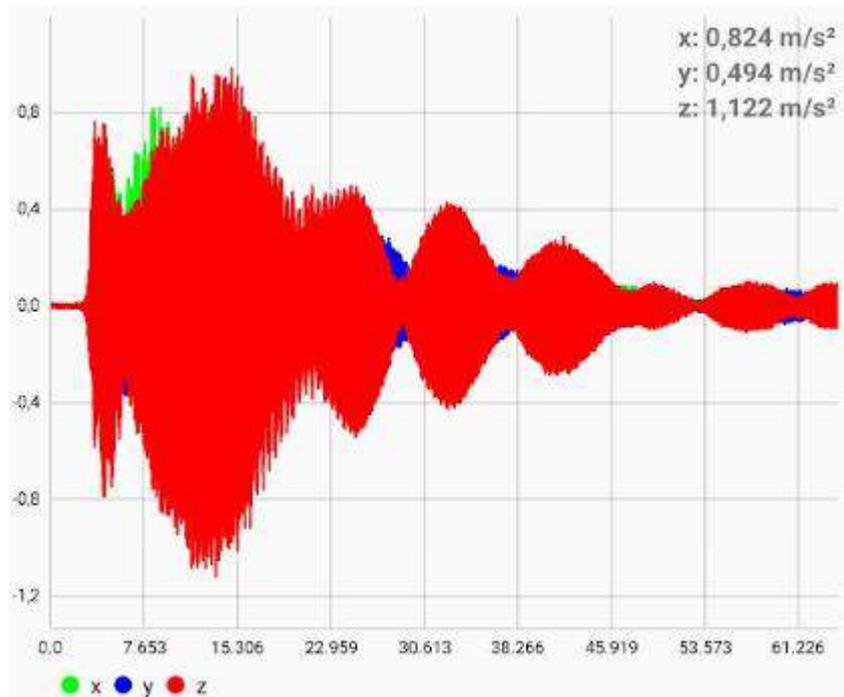
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO U – Gráfico de velocidade em P6 – 1ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



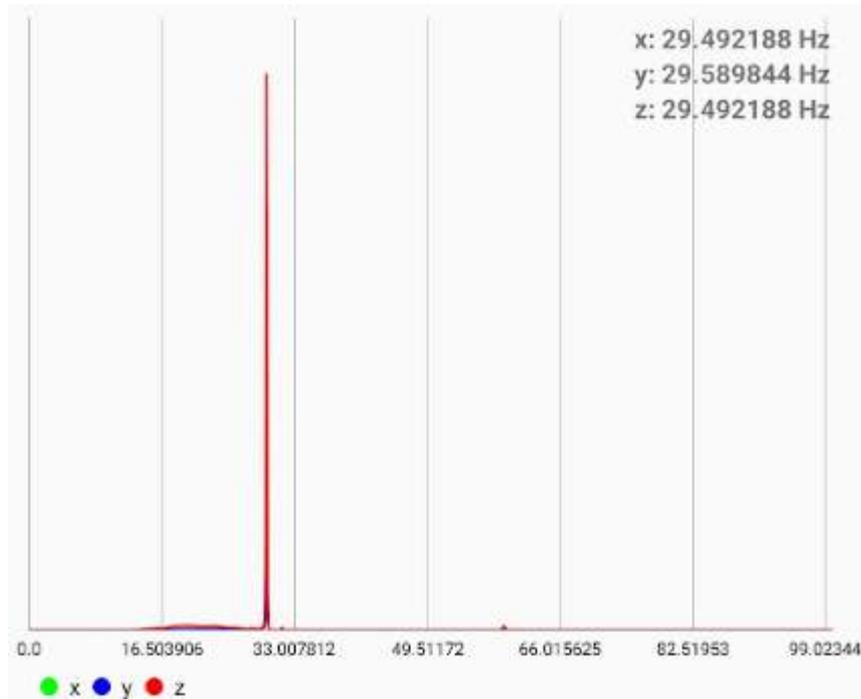
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO V – Gráfico de aceleração em P6 – 2ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



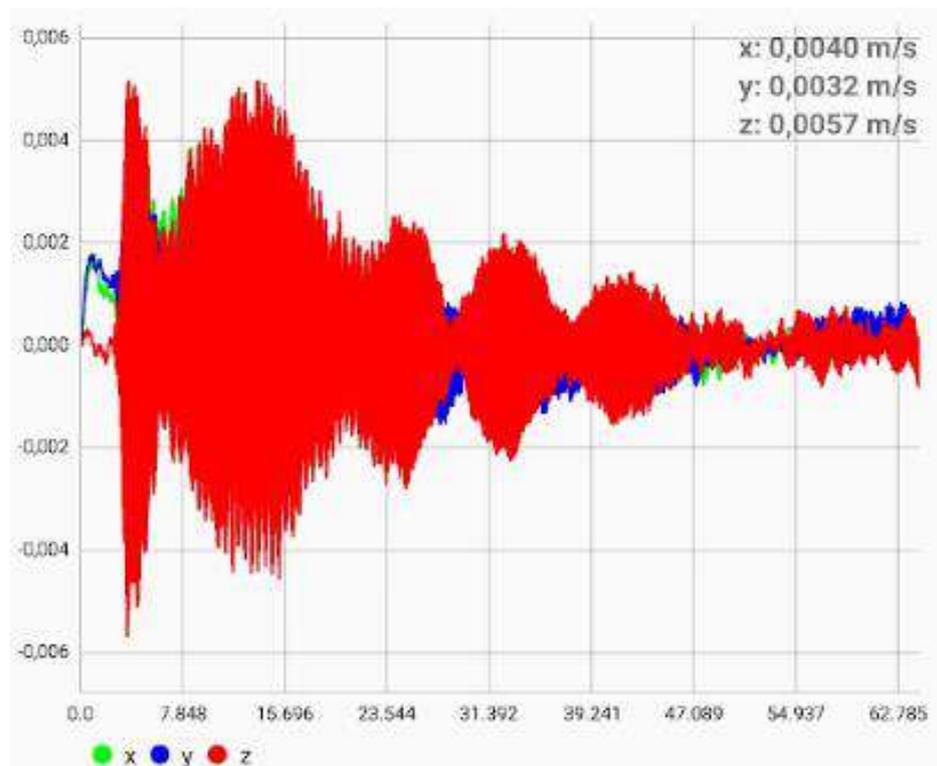
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO W – Gráfico de frequência em P6 – 2ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



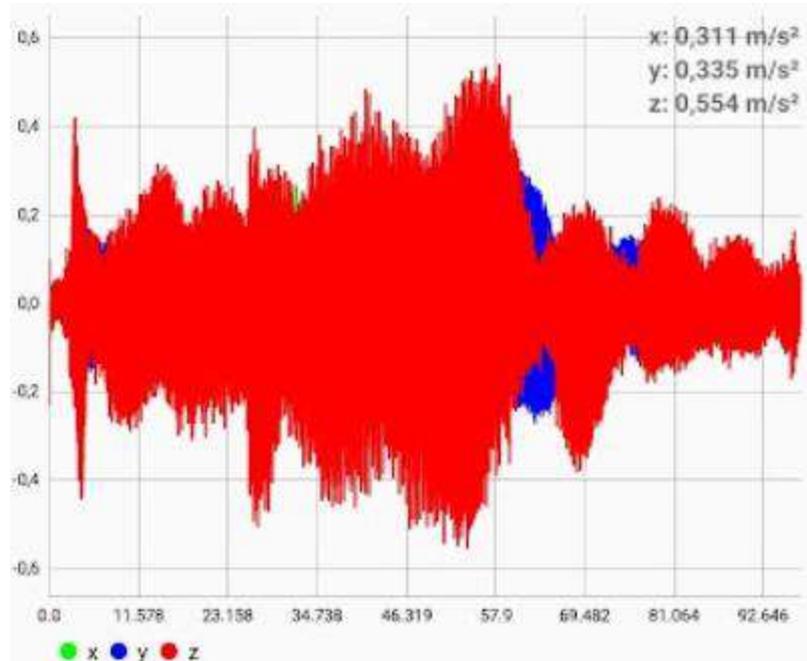
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO X – Gráfico de velocidade em P6 – 2ª medição. Distanciamento de 5 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



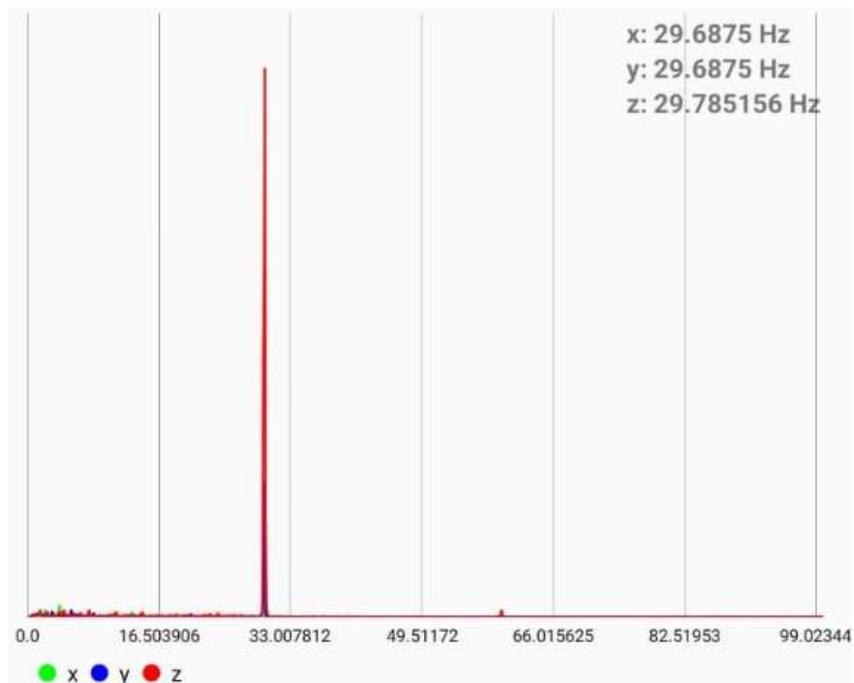
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO Y – Gráfico de aceleração em P8 – 1ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



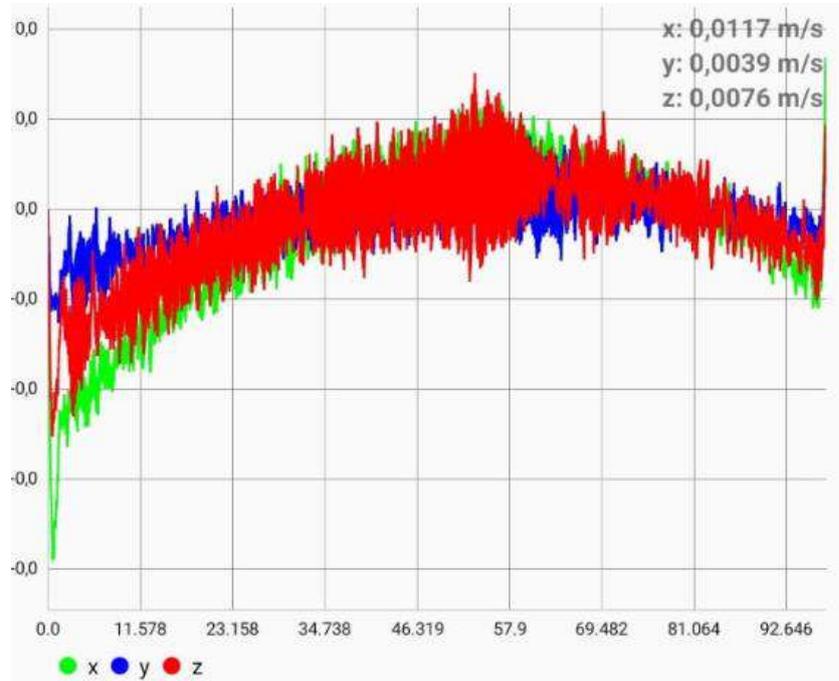
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO Z – Gráfico de frequência em P8 – 1ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



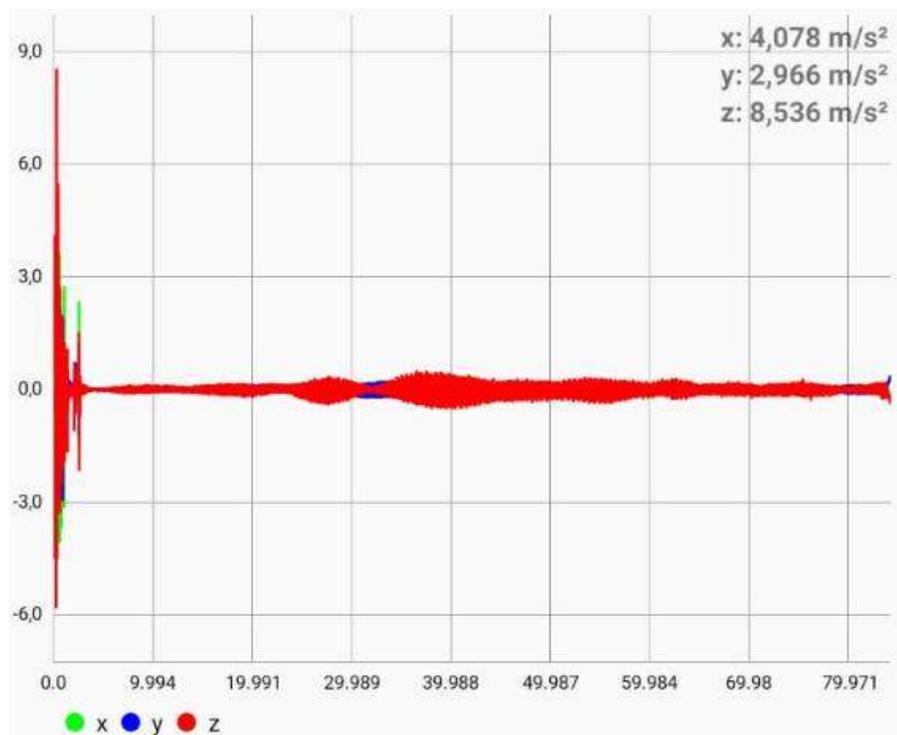
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO AA – Gráfico de velocidade em P8 – 1ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



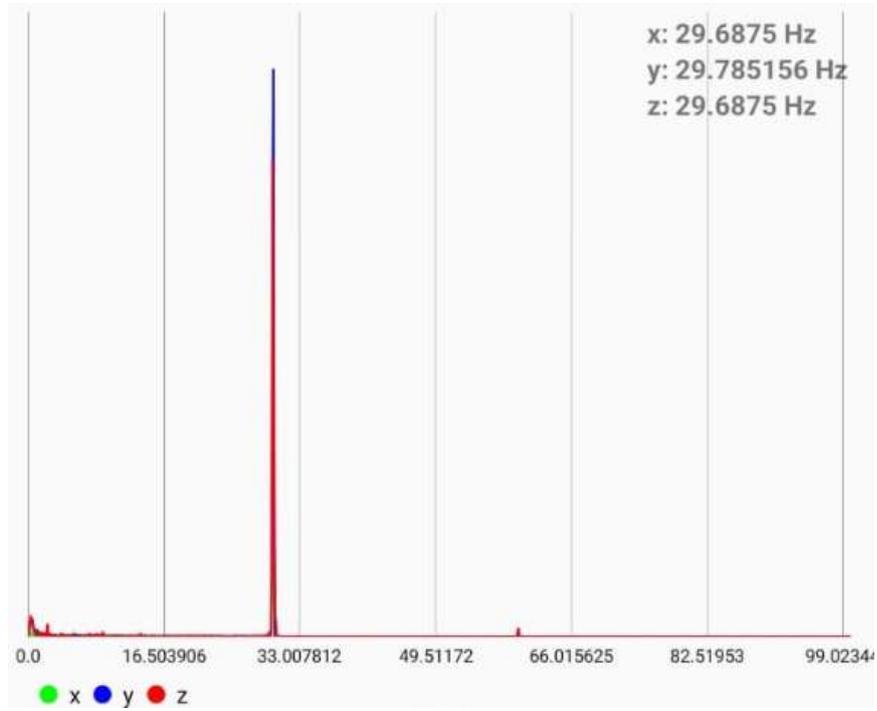
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO BB – Gráfico de aceleração em P8 – 2ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



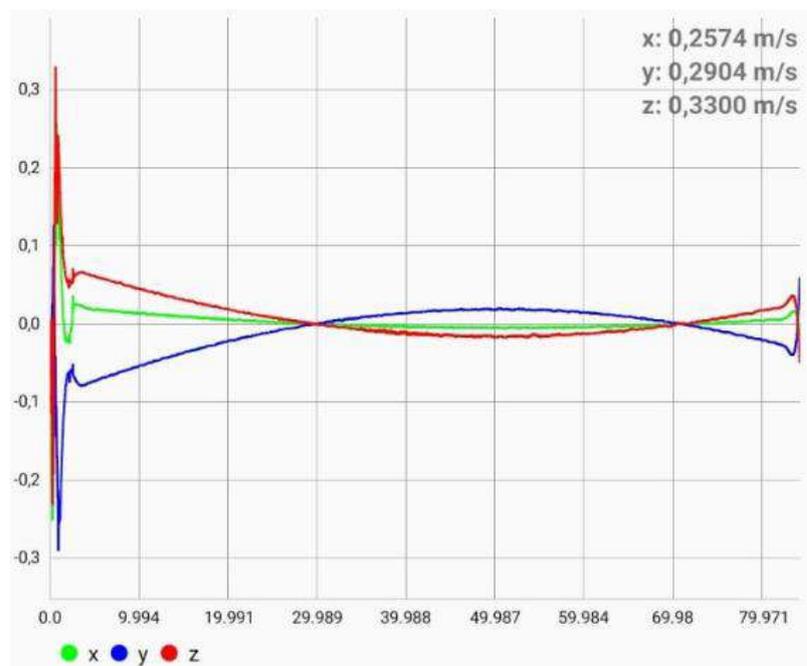
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO CC – Gráfico de frequência em P8 – 2ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



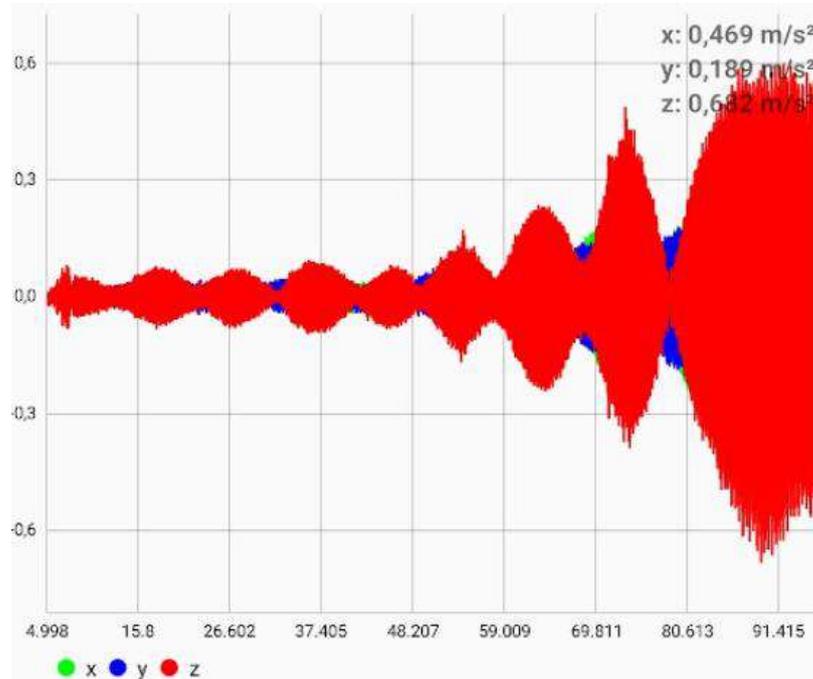
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO DD – Gráfico de velocidade em P8 – 2ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



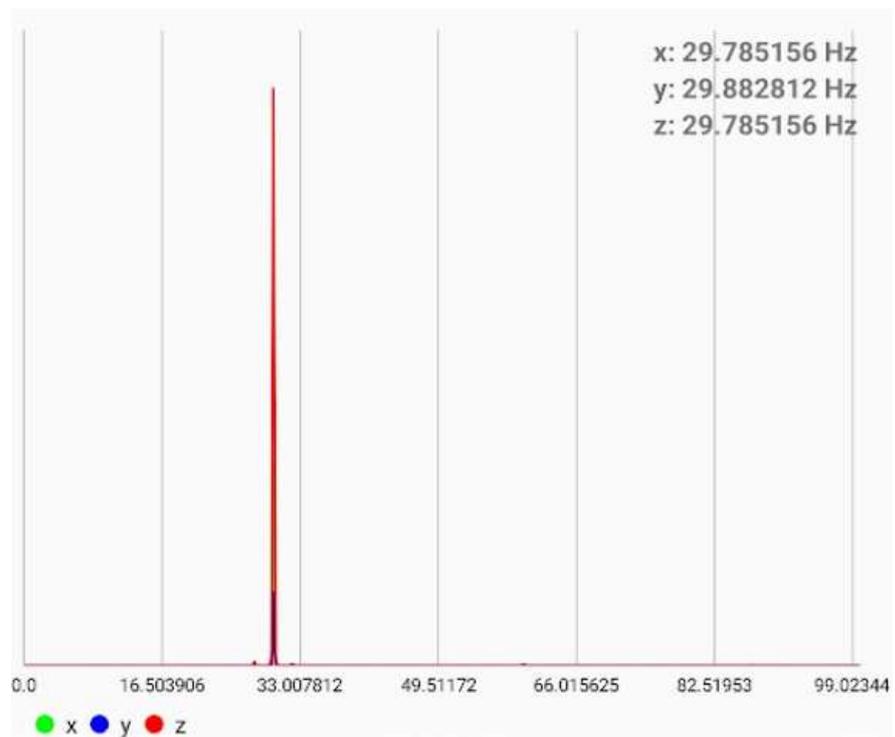
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO EE – Gráfico de aceleração em P9 – 1ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



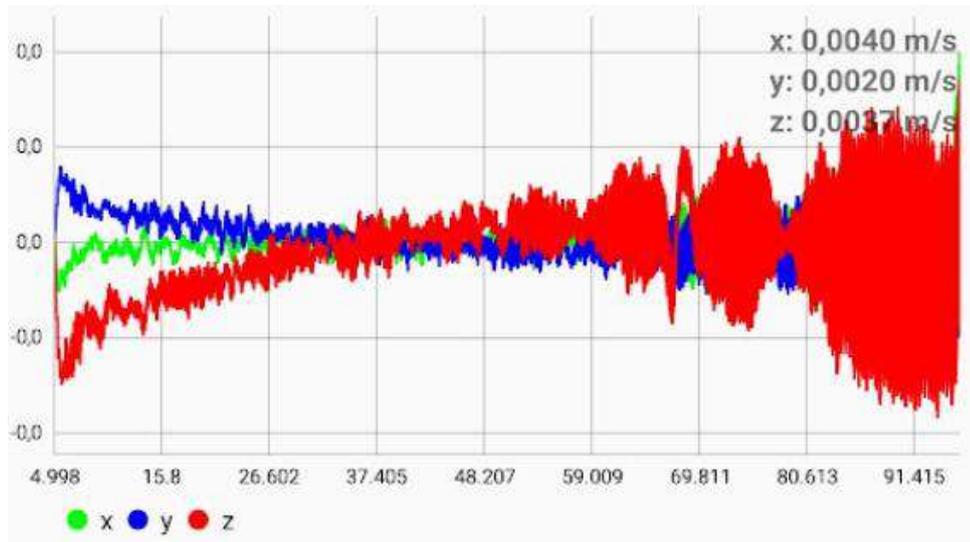
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO FF – Gráfico de frequências em P9 – 1ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



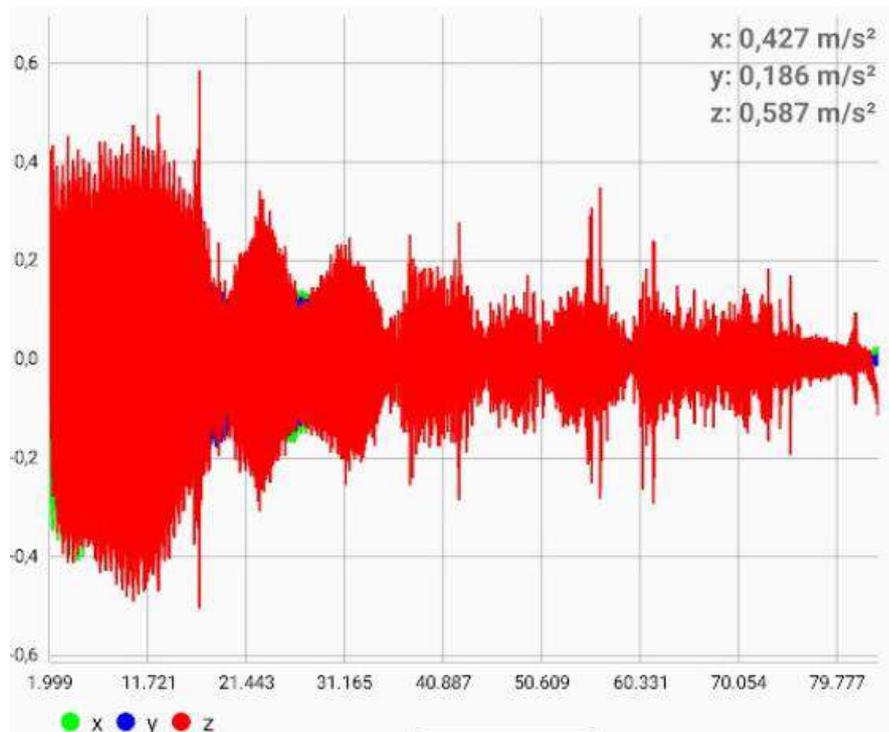
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO GG – Gráfico de velocidades em P9 – 1ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



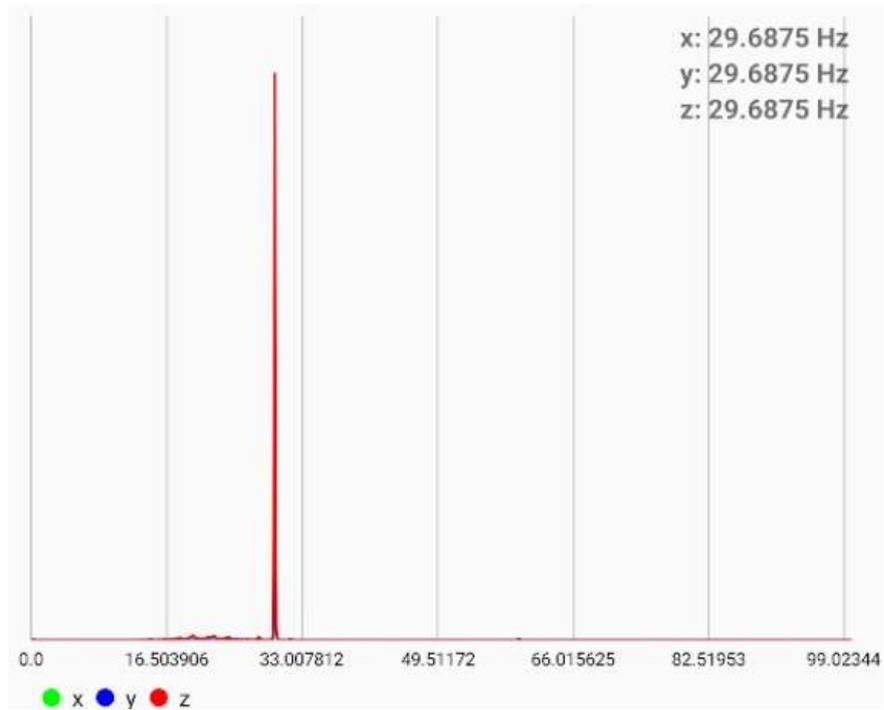
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO HH – Gráfico de acelerações em P9 – 2ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



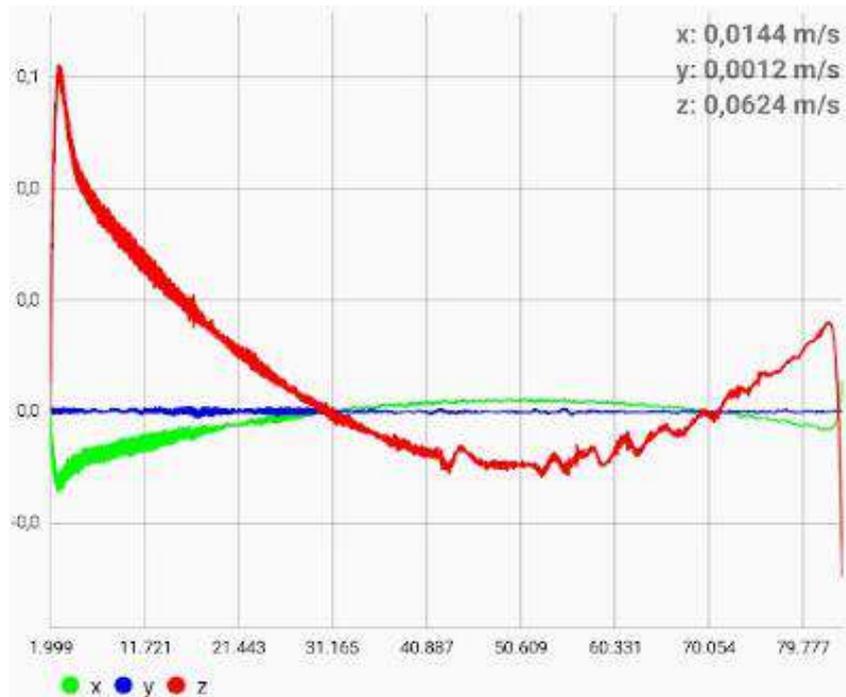
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO II – Gráfico de frequências em P9 – 2ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



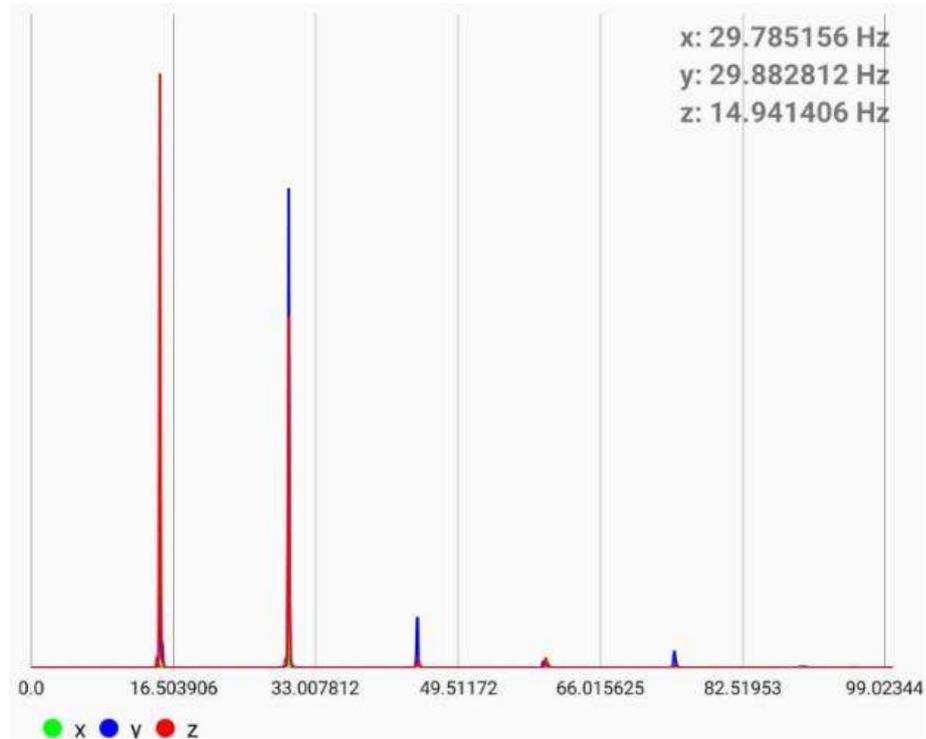
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO JJ – Gráfico de velocidades em P9 – 2ª medição. Distanciamento de 10 metros da faixa de tráfego do rolo pé de carneiro.



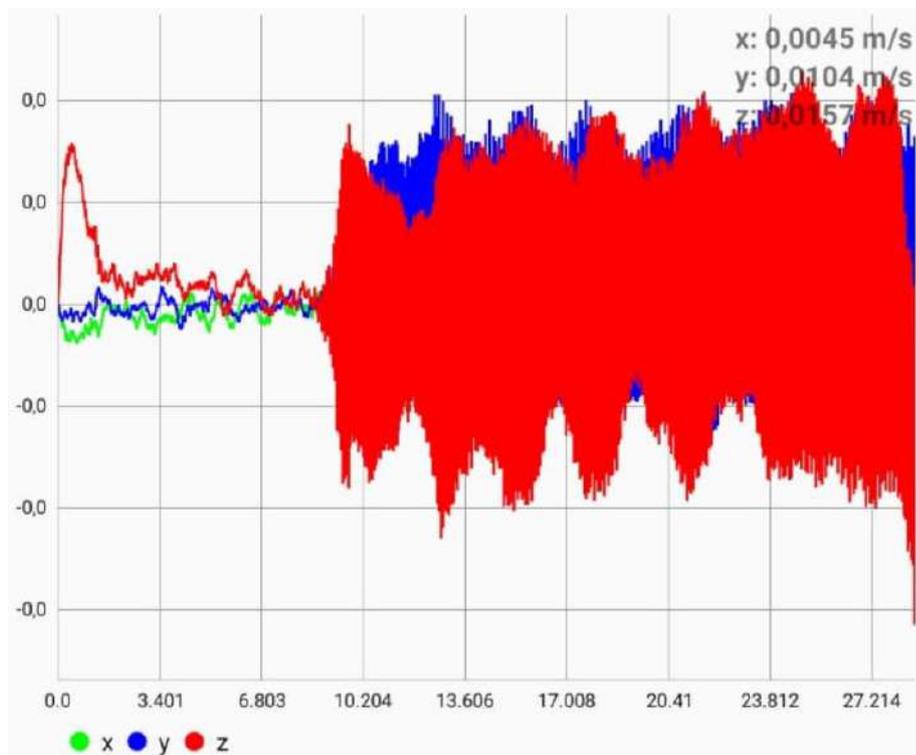
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO KK – Gráfico de frequência em P1, com o smartphone do segundo setor – Medição comparativa



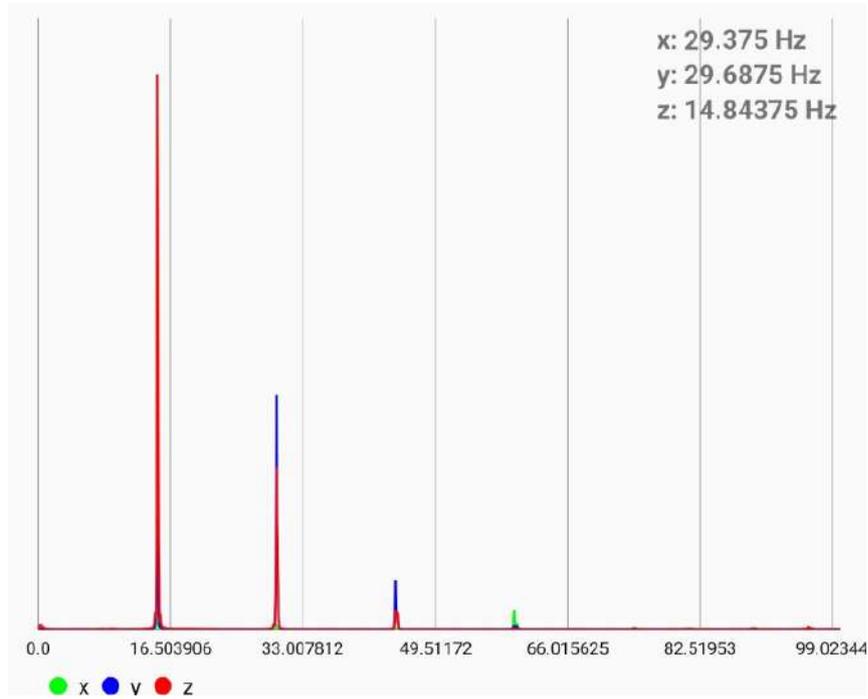
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO LL – Gráfico de velocidades em P1, com o smartphone do segundo setor – Medição comparativa



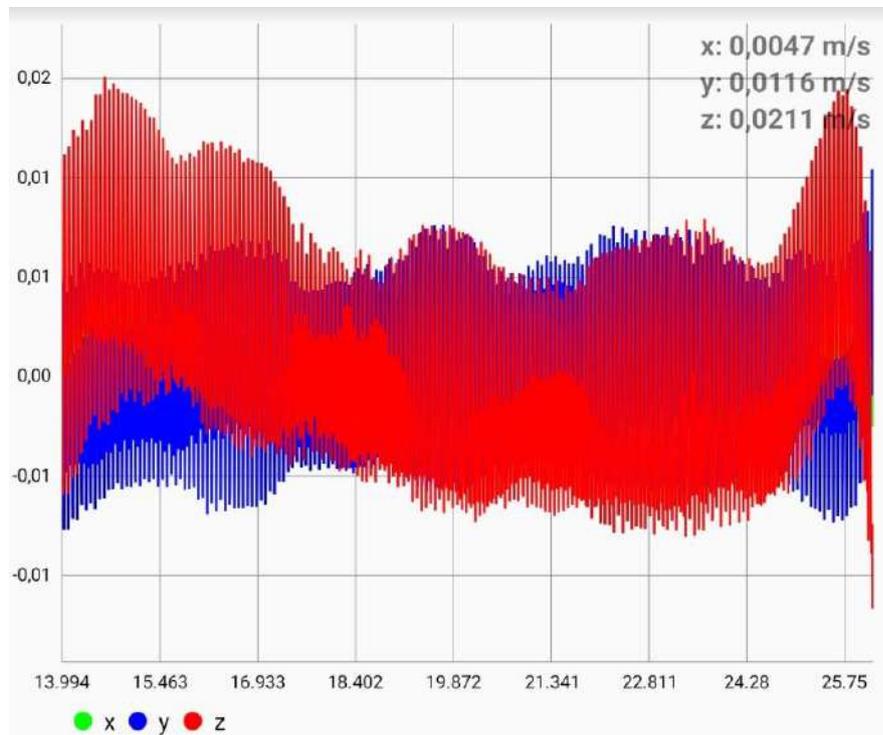
Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO MM – Gráfico de frequências em P1, com o smartphone do terceiro setor – Medição comparativa



Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

ANEXO NN – Gráfico de velocidades em P1, com o smartphone do terceiro setor – Medição comparativa



Fonte: University of Kaiserslautern (2024)

	INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA PARAÍBA
	Campus João Pessoa - Código INEP: 25096850
	Av. Primeiro de Maio, 720, Jaguaribe, CEP 58015-435, Joao Pessoa (PB)
	CNPJ: 10.783.898/0002-56 - Telefone: (83) 3612.1200

Documento Digitalizado Restrito

Trabalho de conclusão de curso

Assunto:	Trabalho de conclusão de curso
Assinado por:	Milena Medeiros
Tipo do Documento:	Relatório
Situação:	Finalizado
Nível de Acesso:	Restrito
Hipótese Legal:	Direito Autoral (Art. 24, III, da Lei no 9.610/1998)
Tipo da Conferência:	Cópia Simples

Documento assinado eletronicamente por:

- **Milena Leopoldina de Medeiros, DISCENTE (202022220045) DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL - JOÃO PESSOA**, em 16/10/2024 14:50:33.

Este documento foi armazenado no SUAP em 16/10/2024. Para comprovar sua integridade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifpb.edu.br/verificar-documento-externo/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 1280255

Código de Autenticação: 037863c75c

