



Instituto Politécnico  
de Castelo Branco  
Escola Superior  
de Tecnologia

# Análise de risco de vibração de uma motocicleta no conforto de condução - vibração de corpo inteiro

Guilherme Manuel Pessoa Dias

Nº 20181093

**Orientador**

Armando Lopes Ramalho (Orientador)

Pedro Miguel Baptista Torres (Coorientador)

Trabalho de Projeto apresentado à Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de Castelo Branco para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Licenciado em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação científica do Professor Doutor Armando Lopes Ramalho e do Professor Doutor Pedro Miguel Baptista Torres, do Instituto Politécnico de Castelo Branco.

Outubro de 2024



## **Composição do júri**

### **Presidente do júri**

Armando Lopes Ramalho  
Professor Coordenador, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de  
Castelo Branco

### **Coorientador**

Pedro Miguel Baptista Torres.  
Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de  
Castelo Branco

### **Arguentes**

Luís Miguel Pedroso de Moura Correia  
Professor Adjunto, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de  
Castelo Branco

Paulo Jorge Sequeira Gonçalves  
Professor Coordenador, Escola Superior de Tecnologia do Instituto Politécnico de  
Castelo Branco

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho a mim e a todas as pessoas que estiveram ao meu lado ao longo deste percurso, deixando uma marca profunda na minha vida.

Em primeiro lugar, à minha família, que sempre me apoiou em todas as minhas etapas da vida. A vossa confiança em mim, o vosso amor incondicional e o apoio constante foram fundamentais para que eu superasse os desafios e as incertezas ao longo deste percurso. Sem vocês, este momento não seria possível, e cada vitória minha, há uma parte de cada um de vós.

Aos meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado nos bons e maus momentos e sempre prontos para compartilhar a sua ajuda e boa disposição. Vocês conseguiram equilibrar o peso dos estudos com o prazer da convivência, e por isso serei eternamente grato. Obrigado por nunca desistirem de mim e por acreditarem naquilo que eu consegui alcançar.

Aos meus professores e orientadores, que, com sua sabedoria e paciência, me guiaram e ajudaram a moldar este trabalho. As vossas palavras de incentivo, críticas construtivas e partilhas de conhecimento foram fundamentais para o meu crescimento académico e pessoal. Obrigado por me desafiarem a pensar mais além e por me permitirem expandir os meus horizontes.

A todos os colegas que, de uma forma ou de outra, fizeram parte deste caminho. Foram muitos os momentos de partilha, entre dúvidas, angústias e conquistas. Cada interação ajudou a construir o que sou hoje e este trabalho reflete essa aprendizagem coletiva.

Por fim, dedico este trabalho a mim que, apesar das adversidades, nunca deixei de acreditar. Este é o resultado de muito esforço, dedicação e resiliência, e representa mais do que um fim – é o início de um novo capítulo, com mais sonhos e metas para alcançar.



## **Agradecimentos**

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais, que sempre me apoiaram e incentivaram em cada passo desta jornada. Aos professores e orientadores, que com personalidade e dedicação ajudaram-me a desenvolver este projeto. Também gostaria de agradecer aos meus colegas de curso, com quem compartilhei muitas ideias e aprendizados ao longo do caminho. Agradeço aos amigos, que estiveram sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis, sempre prontos para ajudar. E, por fim, a todos que, de uma forma ou de outra me ajudaram a realizar este projeto, um muito obrigado.

## **Resumo**

Este projeto consiste no desenvolvimento de um estudo de análise de risco de vibrações associadas ao uso de um motociclo em relação ao conforto da sua condução.

Para podermos recolher com sucesso os dados dos ensaios, desenvolveu-se um sistema onde se acoplou diversos equipamentos eletrónicos e desenvolveu-se um código para que estes funcionassem em sintonia.

A análise baseou-se principalmente em medições experimentais de vibrações geradas durante a utilização do motociclo em diversos percursos com diferentes tipos de pisos seguindo as diretrizes estabelecidas na norma ISO-2631.

Tendo os dados todos recolhidos, passou-se então para a análise dos mesmos e qualificar o nível de vibração em cada cenário, comparar os valores de vibração obtidos em diferentes condições de uso, caracterizar o nível de conforto de condução em cada percurso e piso com base nas medições realizadas.

## **Palavras-chave**

Raspberry pi pico w, Yamaha DT125LC, Conforto, Vibração, Micropython



## **Abstract**

This project consists of developing a risk analysis study of vibrations associated with the use of motorcycles in relation to riding comfort.

In order to successfully collect test data, a system was developed where various electronic equipment was coupled and a code was developed so that they could work in sync.

The analysis was based mainly on experimental measurements of vibrations generated during the use of the motorcycle on different routes with different types of pavement, following the guidelines established in the ISO-2631 standard.

Having all the data collected, we then proceeded to analyze them and qualify the level of vibration in each scenario, compare the vibration values obtained in different conditions of use, characterize the level of driving comfort on each route and surface with based on the measurements taken.

## **Keywords**

Raspberry pi pico w, Yamaha DT125LC, Comfort, Vibration, Micropython



## Índice geral

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. ESTUDO DA NORMA ISO-2631</b> .....	<b>2</b>
<b>3. INSTRUMENTAÇÃO DA MOTO</b> .....	<b>6</b>
3.1 <i>Características da Moto:</i> .....	6
<b>4 COMPONENTES</b> .....	<b>9</b>
4.1 ACELERÓMETRO .....	10
4.2 ARMAZENAMENTO .....	11
3.5 POWERBANK .....	12
3.6 SUPORTES.....	13
<b>4 PROGRAMAÇÃO DO RASPBERRY PI</b> .....	<b>16</b>
4.1 IMPORTAÇÃO DAS BIBLIOTECAS .....	16
4.2 CONFIGURAÇÃO DOS PINOS PARA O SENSOR ADXL335 .....	16
4.3 CONFIGURAÇÃO DO BOTÃO .....	17
4.4 CONFIGURAÇÃO DO SPI E CARTÃO SD .....	17
4.5 CONVERSÃO DOS VALORES ADC PARA G E MM/S <sup>2</sup> .....	18
4.6 CRIAÇÃO DE DIRETÓRIOS NO CARTÃO SD .....	18
4.7 CALIBRAÇÃO DO ACELERÓMETRO: .....	19
4.8 CONFIGURAÇÃO DO BUFFER DE DADOS E CONTROLE DE FREQUÊNCIA DE AMOSTRAGEM .....	19
4.9 FUNÇÃO DE GRAVAÇÃO NO SDCARD .....	20
4.10 LOOP PRINCIPAL: .....	20
4.11 RECOLHA DOS DADOS DO ACELERÓMETRO: .....	21
4.12 LÓGICA PRINCIPAL E CONTROLO DO LED: .....	22
<b>5 MONTAGEM E TESTE DOS COMPONENTES</b> .....	<b>23</b>
<b>6 CALIBRAÇÃO DO ACELERÓMETRO</b> .....	<b>25</b>
<b>7 MONTAGEM FINAL DO SISTEMA</b> .....	<b>27</b>
<b>8. TRAJETOS E CARACTERIZAÇÃO DOS PISOS</b> .....	<b>30</b>
<b>9 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>33</b>

9.1 PERCURSO A .....	33
9.2 PERCURSO B .....	34
9.3 PERCURSO C .....	35
<b>10 DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
<b>11 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
11.1 LIMITAÇÕES .....	38
11.2 PROPOSTAS PARA TRABALHO FUTURO .....	38
<b>12 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>39</b>
<b>13 ANEXOS.....</b>	<b>40</b>

## Índice de figuras

Figura 1- Sistema de coordenadas para a medição de vibrações, ISO 2631-1 ...2	
Figura 2 - Yamaha DT125LC YPVS. ....7	7
Figura 3 - Geometria de suspensão Monocross. ....8	8
Figura 4 - microcontrolador Raspberry Pi Pico W. ....9	9
Figura 5 - acelerómetro ADXL335. ....10	10
Figura 6 - Módulo Leitor de Micro SD Card. ....12	12
Figura 7 - Powerbank GOODIS. ....12	12
Figura 8 - Desenho do suporte. ....13	13
Figura 9 - Desenho da tampa. ....14	14
Figura 10 - impressão 3D do suporte. ....14	14
Figura 11 - impressão 3D do suporte finalizado. ....15	15
Figura 12 - impressão 3D da tampa finalizada. ....15	15
Figura 13 - suporte metálico do acelerómetro. ....15	15
Figura 14 - Código Importação de Bibliotecas. ....16	16
Figura 15 -Código Configuração dos Pinos para o Sensor ADXL335. ....16	16
Figura 16 - Código Configuração do Botão. ....17	17
Figura 17 - Código Configuração do SPI e Cartão SD. ....17	17
Figura 18 - Código Conversão dos Valores ADC para G e mm/s <sup>2</sup> . ....18	18
Figura 19 - Código Criação de Diretórios no Cartão SD. ....18	18
Figura 20 - Código Calibração do acelerómetro. ....19	19
Figura 21 - Código Configuração do Buffer de Dados e Controle de Frequência de Amostragem. ....19	19
Figura 22 - Código Função de Gravação no SDCard. ....20	20
Figura 23 - Código Loop principal. ....20	20
Figura 24 - Código Recolha dos dados do acelerómetro. ....21	21
Figura 25 - Código Lógica Principal e Controlo do LED. ....22	22
Figura 26 - Soldagem do raspberry pi. ....23	23
Figura 27- Montagem na breadboard. ....23	23
Figura 28 - Montagem no suporte. ....24	24
Figura 29 - Esquema elétrico. ....24	24
Figura 30 - Instrumentação utilizada para a calibração. ....25	25
Figura 31 - Onda obtida pelo adxl335. ....26	26
Figura 32 - onda obtida pelo Piezotronics 482A21. ....26	26
Figura 33 - Diagrama de blocos, medição de aceleração LAB_VIEW. ....26	26
Figura 34 - Montagem do sistema na moto. ....27	27
Figura 35 - Montagem do sistema na moto, tampa traseira. ....27	27
Figura 36 - Instalação do acelerómetro no banco da moto. ....28	28
Figura 37 - Colocação de papel espuma. ....28	28
Figura 38 - instalação do botão ON OFF. ....29	29
Figura 39 - Moto já com o circuito todo montado. ....29	29
Figura 40 - Pneus Mitas E-09. ....30	30

<b>Figura 41</b> - Pneu traseiro da moto.....	30
<b>Figura 42</b> - Percurso A.....	30
<b>Figura 43</b> - Percurso B, piso de paralelos (calçada em granito).....	31
<b>Figura 44</b> - Percurso B.....	31
<b>Figura 45</b> - percurso A piso asfaltado.....	31
<b>Figura 46</b> - Percurso C, piso de paralelos (passeio). ....	32
<b>Figura 47</b> - Percurso C.....	32
<b>Figura 48</b> - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 1° ensaio.....	33
<b>Figura 49</b> - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 2° ensaio.....	34
<b>Figura 50</b> - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 3° ensaio.....	34
<b>Figura 51</b> - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 4° ensaio.....	35
<b>Figura 52</b> - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 5° ensaio.....	35
<b>Figura 53</b> - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 6° ensaio.....	36

## Índice de símbolos

$G$  → Aceleração da gravidade

$V$  → Volt

$\text{Hz}$  → Hertz

$\text{Nm}$  → Newton metro

$a_w$  → Aceleração linear ponderada em frequência

$a_w(t)$  → Aceleração instantânea ponderada em frequência

$\tau$  → Tempo de integração para a média em contínuo

$t$  → Tempo (variável de integração)

$t_o$  → Tempo de observação (tempo instantâneo)

$(Hl(p))$  → Função de Transferência de um Filtro passa-baixo

$(Hh(p))$  → Função de Transferência de um Filtro passa-alto

$(Ht(p))$  → Transição aceleração-velocidade

$(Hs(p))$  → Aumento de escala

$H(p)$  → Função de transferência ou ganho de um filtro

$av$  → Valores totais de vibração

$aw_x$  → Aceleração ponderada em frequência do eixo  $x$

$aw_y$  → Aceleração ponderada em frequência do eixo  $y$

$aw_z$  → Aceleração ponderada em frequência do eixo  $z$

$\mu\text{g}$  → Microgrammo

$\mu\text{A}$  → Microampere

$\text{mAh}$  → miliampere-hora

## Lista de tabelas

<b>Tabela 1</b> - Estado de conforto, definido pelo intervalo de amplitudes equivalentes de vibração. ....	4
<b>Tabela 2</b> - Valores máximos de aceleração RMS na trajetória A. ....	33
<b>Tabela 3</b> - Valores máximos de aceleração RMS na trajetória B. ....	34
<b>Tabela 4</b> - Valores máximos de aceleração RMS na trajetória C. ....	35



## Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

DT → Dual Terrain  
LC → Liquid Cooled  
AC → (air cooled)  
MX → modelo de motocross  
YPVS → (Yamaha Power Valve System)  
YEIS → (Yamaha Energy Induction System)  
2T → motores com ciclos de 2 tempos  
ISO → International Organization for Standardization  
CDI → (Capacitor Discharge Ignition)  
Nm → Newton metro  
RPM → Rotações por minuto  
mm → milímetros  
Kg → Quilograma  
km/h → quilómetros por hora  
KB → Kilobyte  
MB → megabytes  
ADCs → (Conversores Analógico-Digital)  
ARM → Acorn RISC Machine  
RAM → Random Access Memory / Memória de acesso aleatório  
RMS → (Root Mean Square)  
VDV → Valor de Dose de Vibração  
MTVV → Valor máximo de vibração transitória  
SRAM → Static Random Access Memory  
GPIO → General-Purpose Input/Output  
PWM → Pulse Width Modulation  
CAD → Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)  
CAM → Computer Aided Manufacturing (Manufatura Assistida por Computador)  
CAE → Computer-Aided Engineering (Engenharia Assistida por Computador)  
PCB → Printed Circuit Board (Placa de Circuito Impresso)  
USB → Universal Serial Bus  
SWD → Single Wire Debug  
MEMS → Micro-Electro-Mechanical Systems  
PLA → Polylactic Acid (Ácido Poliláctico)  
DMP → Digital Motion Processor (Processador de Movimento Digital)  
SPI → Serial Peripheral Interface (Interface periférica de série)  
SPDT → Single pole double throw (Pólo simples, duplo acionamento)  
GND → Graduated neutral density (Densidade neutra graduada/ Terra)  
SCL → Serial Clock Line  
SCM → System Content Manager  
SDA → Serial Data Adapter

MISO→ Master In Slave Out

MOSI→ Master Out Slave In

SCK→ Serial Clock

CS → Chip Select

STL → Stereolithography

ADC → Analog-to-Digital Converter (Conversor Analógico para Digital)

CS → Chip Select

FAT32 → File Allocation Table 32

LED → Light Emitir Diodo



# 1 Introdução

As motos tornaram-se um dos veículos mais utilizados no mundo, para as mais diversas finalidades. Sendo as motos de baixa cilindrada mais usadas para deslocamentos diários, devido aos elevados custos do combustível e ao trânsito intenso, oferecendo poupança de tempo e custos. Já em países desenvolvidos, são mais avançadas e usadas sobretudo para fins recreativos. Contudo, os fatores humanos associados a acidentes de moto podem estar relacionados com fadiga postural, causada por estradas danificadas, mau tempo, postura inadequada, carga excessiva e altas vibrações do veículo. As vibrações podem ter efeitos fisiológicos e físicos, como aumento da frequência cardíaca, lesões na coluna vertebral e problemas nos sistemas digestivo e urinário.

Neste contexto, as suspensões das motos desempenham um papel crucial, pois são responsáveis por minimizar as vibrações causadas pelas irregularidades das estradas e por outros fatores, como o próprio funcionamento do motor. Este projeto tem como objetivo principal analisar as vibrações que ocorrem durante a condução de um motociclo e avaliar como elas afetam o conforto do condutor.

A moto utilizada para os testes foi uma Yamaha DT125LC de 1987, um modelo clássico que, apesar de sua idade, ainda apresenta um desempenho competitivo em termos de ciclística e suspensão. Durante o estudo, foram realizados diversos ensaios em diferentes superfícies, seguindo a norma ISO-2631, que define critérios para avaliação de vibrações no corpo humano.

O foco deste trabalho está em medir e interpretar as vibrações transmitidas ao condutor, visando não apenas avaliar o nível de conforto, mas também entender os possíveis impactos na saúde e segurança durante a condução. Com base nos resultados obtidos, espera-se propor melhorias que possam reduzir o desconforto e aumentar a segurança dos condutores.

## 2. Estudo da norma ISO-2631

### Norma ISO-2631 e a sua Aplicação em Motociclos

A norma ISO-2631 estabelece diretrizes para a avaliação da exposição humana (corpo inteiro) a vibrações mecânicas, com foco no impacto sobre o conforto, saúde e segurança. Tem sido amplamente utilizada em diferentes áreas, como veículos, máquinas e outros ambientes em que o ser humano está exposto a vibrações prolongadas. No caso específico dos motociclos, a norma visa analisar as vibrações transmitidas ao condutor através de pontos de contato como o assento.

As vibrações que afetam o condutor podem ter várias origens: irregularidades nas estradas, o próprio motor do motociclo, além de outros componentes como o sistema de suspensão. Devido à sua natureza, os motociclos transferem muitas vibrações para o corpo do condutor, sendo as vibrações verticais as mais comuns e prejudiciais, afetando principalmente a coluna vertebral. Esta análise é particularmente importante para motociclos usadas em países em desenvolvimento, onde as condições das estradas geralmente são adversas, e em motos de baixa cilindrada, mais vulneráveis a vibrações.

A vibração deve ser medida por meio de sistemas de coordenadas que tomam como origem o ponto de entrada da vibração no corpo. A grandeza principal para a medição é a aceleração, expressa em metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ ). Os transdutores devem estar posicionados nas áreas de contato principais (assento, encosto e pés).

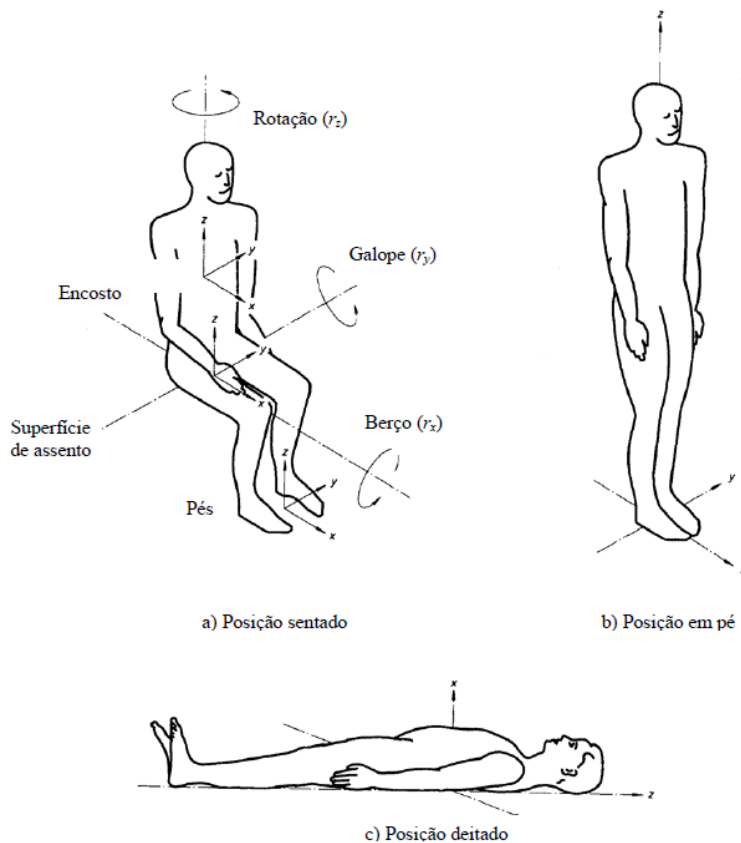


Figura 1- Sistema de coordenadas para a medição de vibrações, ISO 2631-1

A norma aborda vibrações periódicas, consultadas e transientes em frequências entre 0,5 Hz e 80 Hz. O foco está nos impactos à saúde, conforto e percepção das pessoas, e não há risco de desfrutar ao movimento em frequências mais baixas (0,1 Hz a 0,5 Hz). São propostas diretrizes para a medição da vibração nas superfícies de contato entre o corpo e a fonte vibratória, como assentos, encostos e pisos.

Neste estudo, os três eixos foram considerados para a posição A sentado (longitudinal (eixo x), laterais (eixo y) e vertical (eixo z)) como direções de entrada de vibração para o corpo humano. O método de avaliação usando o valor eficaz (R.M.S.), em contínuo toma em consideração os choques ocasionais e as vibrações transitórias ao utilizar um tempo de integração curto. O valor eficaz da aceleração é definido como sendo um valor médio ponderado no tempo, definido por:

$$a_w = \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

*Equação 1 - Valor eficaz da aceleração.*

Os efeitos das vibrações no corpo humano variam de acordo com a frequência das vibrações. Para medir o impacto no conforto de condução, que está na faixa de 0,5 a 80 Hz, a norma ISO 2631 aplica filtros que ajustam a amplitude das vibrações de acordo com as suas frequências.

Para os eixos longitudinal e lateral (horizontais), utiliza-se o filtro chamado  $W_a$ . Para o eixo vertical, utiliza-se o filtro  $W_c$ . Estes filtros são formados por três partes:

1. Banda limitadora, que inclui filtros passa-baixo e passa-alto, limitando a faixa de 0,4 a 100 Hz.
2. Transição aceleração-velocidade, que ajusta a relação entre aceleração e velocidade.
3. Aumento de escala, que ajusta os valores das leituras para garantir resultados.

Estes filtros ajudam a medir e avaliar corretamente os efeitos das vibrações no corpo.

$$H(p) = H_l(p) H_h(p) H_t(p) H_s(p)$$

*Equação 2 - Função de transferência ou ganho de um filtro*

O valor eficaz da aceleração ponderada em frequência deve ser determinado por ponderação e adição adequada de dados em banda estreita ou em banda de terço de oitava. A conversão de dados de banda de terço de oitava deve recorrer aos fatores de ponderação  $W_h$  definidos na norma, que diferem consoante tem-se a direção z  $W_k$  ou x e y  $W_d$ . A aceleração ponderada deverá ser determinada em conformidade com a seguinte equação:

$$a_w = \left[ \sum_i (W_i a_i)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

*Equação 3 - Aceleração ponderada em frequência.*

**Onde:**

$a_w$  é a aceleração ponderada em frequência;

$W_i$  é o fator de ponderação para a banda de terço de oitava  $i$  indicada nos Quadros 3 e 4;

$a_i$  é o valor eficaz da aceleração para a banda de terço de oitava  $i$ .

O valor eficaz total da aceleração ponderada, determinada a partir das vibrações, em coordenadas ortogonais, é calculado da seguinte forma:

$$a_v = \left( k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2 \right)^{1/2}$$

*Equação 4 - Valores totais de vibração.*

**Em que:**

$a_{wx}$ ,  $a_{wy}$ ,  $a_{wz}$  São os valores eficazes das acelerações ponderadas relativas aos eixos ortogonais  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Respectivamente;  $k_x$ ,  $k_y$ ,  $k_z$ , são fatores multiplicativos.

A norma permite estimar como a vibração afeta o conforto das pessoas saudáveis, detalhando análises para diferentes posições corporais. No entanto, como a medição de vibrações foi realizada com o condutor sentado, vamos nos focar apenas nessa posição. A Tabela 1 mostra os valores de referência estabelecidos pela norma para cada nível de conforto.

**Tabela 1-** Estado de conforto, definido pelo intervalo de amplitudes equivalentes de vibração.

<b><i>Estado</i></b>	<b><i>Limite inferior</i></b>	<b><i>Limite superior</i></b>
<b><i>Não é desconfortável</i></b>	-	<b>0,315 m/s<sup>2</sup></b>
<b><i>Pouco desconfortável</i></b>	<b>0,315 m/s<sup>2</sup></b>	<b>0,63 m/s<sup>2</sup></b>
<b><i>Razoavelmente desconfortável</i></b>	<b>0,5 m/s<sup>2</sup></b>	<b>1 m/s<sup>2</sup></b>
<b><i>Desconfortável</i></b>	<b>0,8 m/s<sup>2</sup></b>	<b>1,6 m/s<sup>2</sup></b>
<b><i>Muito desconfortável</i></b>	<b>1,25 m/s<sup>2</sup></b>	<b>2,5 m/s<sup>2</sup></b>
<b><i>Extremamente desconfortável</i></b>	<b>2 m/s<sup>2</sup></b>	-

## Impactos das Vibrações na Condução

As vibrações em motocicletas podem causar diversos efeitos negativos no condutor, tanto a curto quanto a longo prazo:

- **Fadiga muscular:** A exposição prolongada às vibrações, especialmente nas costas, pescoço e braços, pode causar fadiga muscular. Isso, por sua vez, pode comprometer o controle das motocicletas e aumentar o risco de acidentes.
- **Desconforto:** As vibrações que ocorrem nas frequências de ressonância são particularmente desconfortáveis, impactando a eficiência e o prazer da condução, especialmente em trajetos longos.
- **Problemas de saúde a longo prazo:** Vibrações intensas e prolongadas podem levar a problemas graves na coluna e no sistema musculoesquelético, incluindo dores lombares crônicas, artrose e degeneração dos discos vertebrais.

## Conclusão

A norma ISO-2631 é uma ferramenta essencial para avaliar e melhorar o conforto e a segurança das motocicletas, estabelecendo parâmetros claros para medir e controlar as vibrações que afetam o condutor. A sua aplicação no design e avaliação de motocicletas permite reduzir os impactos negativos das vibrações na saúde dos condutores, melhorando a qualidade da condução e minimizando os riscos de acidentes, desconforto e lesões.

### 3. Instrumentação da Moto

Para o presente estudo usamos uma moto Yamaha DT125LC do ano de 1987 com as seguintes características:

#### 3.1 Características da Moto:

##### Motor:

- Tipo de motor: Monocilíndrico, 2 tempos, refrigerado a líquido
- Cilindrada: 123 cm<sup>3</sup>
- Diâmetro x Curso: 56 mm x 50 mm
- Sistema de admissão: Válvula de palheta
- Sistema de exaustão: YPVS (Yamaha Power Valve System) – uma válvula controlada eletronicamente no escape que melhora o desempenho em diferentes faixas de rotação
- Potência máxima: Aproximadamente 22 cavalos de potência a 7.500 rpm
- Torque máximo: Cerca de 16 Nm a 7.000 rpm
- Taxa de compressão: Aproximadamente 6.5:1
- Sistema de lubrificação: Autolube (injeção de óleo 2 tempos)
- Sistema de ignição: CDI (Descarga Capacitiva)
- Alimentação: Carburador Mikuni VM26

##### Suspensão:

- Suspensão dianteira: Garfo telescópico, curso de 235 mm
- Suspensão traseira: Monoshock com sistema monocross, curso de 220 mm

##### Chassi:

- Quadro: Aço tubular
- Tipo de chassi: Semiberço duplo

##### Dimensões:

- Comprimento total: 2.150 mm
- Largura total: 875 mm
- Altura total: 1.190 mm
- Altura do assento: Aproximadamente 880 mm
- Distância entre eixos: 1.405 mm
- Distância mínima do solo: Cerca de 300 mm
- Peso seco: Aproximadamente 112 kg

##### Rodas e Pneus:

- Pneu dianteiro: 2.75-21
- Pneu traseiro: 4.10-18

### Capacidade:

- Capacidade do depósito de combustível: Aproximadamente 8.5 litros

### Desempenho:

- Velocidade máxima: Aproximadamente 140 km/h
- Aceleração: Bastante ágil, com boa resposta em baixa e média rotação graças ao sistema YPVS

A figura 2 representa um catálogo lançada pela Yamaha quando a moto foi lançada, que por sinal é o mesmo modelo que se usou neste projeto.



Figura 2 - Yamaha DT125LC YPVS.

### Suspensão Dianteira:

- Tipo: Garfo telescópico
- Descrição: A suspensão dianteira é do tipo garfo telescópico convencional, uma escolha comum para motos de enduro e off-road. Neste sistema, duas hastes (ou bengalas) contêm amortecedores internos que utilizam fluido para suavizar o impacto. O movimento do garfo telescópico é suave e linear, absorvendo as irregularidades do terreno.
- Curso: Aproximadamente 235 mm de curso

- O curso refere-se ao quanto a suspensão pode comprimir, e no caso da DT 125 LC, o curso era significativo, adequado para a absorção de choques em terrenos acidentados e saltos leves.
- Ajuste: Sem ajuste de compressão ou retorno para a suspensão dianteira.

### **Suspensão Traseira:**

- Tipo: Monoshock com sistema monocross
- Descrição: Na parte traseira, a DT 125 LC de 1987 era equipada com um sistema de Monoshock, utilizando um único amortecedor acoplado a um sistema de braço oscilante ("swingarm") com o mecanismo Monocross da Yamaha.
  - Monoshock: O amortecedor único (em oposição aos dois amortecedores laterais que eram comuns em motos mais antigas) oferecia uma distribuição de peso mais centralizada e uma capacidade melhorada de absorver choques mais agressivos.
  - Monocross: O sistema monocross da Yamaha envolve uma geometria de ligação especial entre o amortecedor e o braço oscilante. O objetivo é aumentar o curso efetivo da suspensão traseira e fornecer uma resposta progressiva aos impactos. Isso significa que a suspensão começa macia e fica progressivamente mais rígida conforme comprime, o que é útil em grandes impactos ou saltos.
- Curso: Aproximadamente 220 mm de curso
  - Esse curso permitia à moto absorver impactos profundos ao passar por terrenos acidentados, oferecendo excelente tração e controle traseiro.
- Ajuste: Em muitos casos, o sistema Monoshock destas motos poderiam ter ajustes limitados, como a pré-carga da mola, permitindo que o piloto ajustasse a rigidez da suspensão traseira para diferentes tipos de uso (off-road ou estrada).

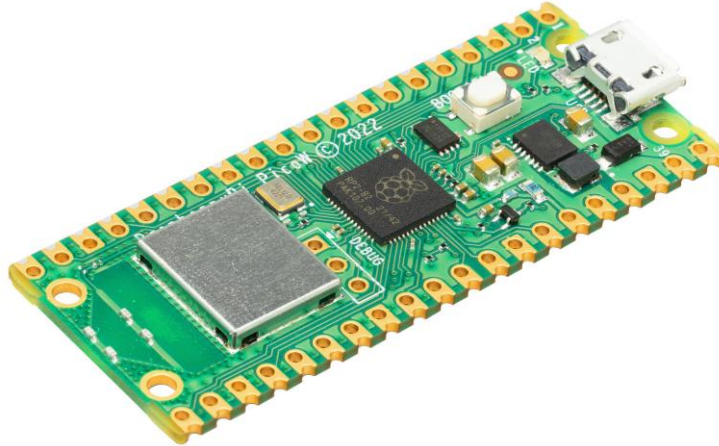
Figura 3 representa o sistema de amortecedor traseiro Monocross que a Yamaha desenvolveu e equipou a moto usada no projeto



*Figura 3 - Geometria de suspensão Monocross.*

## 4 Componentes

Para aquisição e processamento dos dados obtidos pelo acelerómetro utilizou-se um microcontrolador Raspberry Pi Pico W



*Figura 4 - microcontrolador Raspberry Pi Pico W.*

A figura 4 representa um Raspberry Pi Pico W, é uma versão melhorada do Raspberry Pi Pico, que adiciona conectividade Wi-Fi ao microcontrolador original, mantendo a simplicidade e o baixo custo, além de ser uma opção viável para projetos de baixos custos. Este é baseado no microcontrolador RP2040 desenvolvido pela Raspberry Pi Foundation.

Abaixo estão as características técnicas detalhadas do Raspberry Pi Pico W:

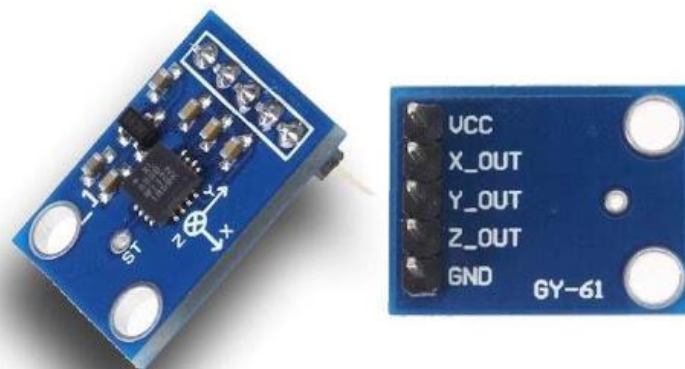
### Características Gerais:

- Microcontrolador: Raspberry Pi RP2040
- Arquitetura: ARM Cortex-M0+ (32 bits, Dual-core)
- Velocidade do Processador: 133 MHz (ajustável por overclocking)
- Memória RAM: 264 KB
- Memória Flash: 2 MB de Flash QSPI (para armazenamento de programas)
- Pinos GPIO: 26 pinos GPIO multifuncionais (pinos padrões de 3,3V)
- Digital: Entradas e saídas digitais
- PWM: 16 canais de Pulse Width Modulation (PWM) para controle de motores, LEDs, etc.
- Pinos Analógicos: 3 ADCs (Conversores Analógico-Digital) de 12 bits, variando de 0 a 3,3V.
- Interfaces de Comunicação:
  - 2 × UART (comunicação serial)
  - 2 × SPI (Serial Peripheral Interface)
  - 2 × I<sup>2</sup>C (Inter-Integrated Circuit)
  - 16 × canais de controle PWM (Pulse Width Modulation)
- Entrada Analógica: 3 × ADC de 12 bits (pinos ADC0, ADC1 e ADC2)

- Interface PIO: 2 × PIO (Programmable I/O) com quatro máquinas de estado cada
- Tensão de Operação: 1,8 V a 5,5 V
- Conector USB: USB Micro-B (para alimentação, comunicação e programação)
- Interface SWD: Suporte a debug via porta SWD (Single Wire Debug) para programação avançada e depuração
- Botão BOOTSEL: Usado para colocar o microcontrolador em modo de boot para gravação de firmware
  
- Dimensões: 51 mm × 21 mm
- Peso: Cerca de 5g

## 4.1 Acelerómetro

A figura 5 representa um Acelerómetro ADXL335, é um acelerómetro de 3 eixos analógico, projetado para medir acelerações nas direções X, Y e Z. É um dispositivo de baixa potência e alta precisão, amplamente utilizado em projetos que envolvem detecção de movimento, inclinação, vibração e orientação.



*Figura 5 - acelerómetro ADXL335.*

Características Técnicas do ADXL335:

- Tipo: Acelerómetro MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems)
- Eixos de Medição: 3 eixos (X, Y, Z)
  
- Faixa de Aceleração:  $\pm 3g$ 
  - Isso significa que o sensor pode medir acelerações de até 3 vezes a aceleração da gravidade da Terra ( $1g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$ ).
  
- Tipo de Saída: Analógica
- Faixa de Tensão de Saída: 0V a 3,3V (quando alimentado com 3,3V)

- A saída para cada eixo é uma tensão analógica proporcional à aceleração sentida naquele eixo.
- Sensibilidade: Aproximadamente 300 mV/g
- Desvio de Zero (Offset): Normalmente, a saída em condições de 0g está em torno de 1,65V (quando alimentado com 3,3V), o que corresponde à ausência de aceleração.
- Tensão de Alimentação: 1,8V a 3,6V (normalmente usado com 3,3V ou 5V)
- Consumo de Corrente: Aproximadamente 350  $\mu$ A
- Densidade de Ruído: 150  $\mu$ g/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Este valor representa o nível de ruído inerente ao sensor. Quanto menor o valor, maior a precisão.
- Frequência de Corte (nominal):
  - Eixo X e Y: 500 Hz
  - Eixo Z: 160 Hz
- As frequências de corte determinam a faixa de resposta do sensor em relação às variações rápidas de aceleração.:
- Dimensões: 4 mm  $\times$  4 mm  $\times$  1,45 mm (Pacote LFCSP de 16 pinos)
- Peso: Extremamente leve, ideal para dispositivos portáteis ou embutidos.

## 4.2 Armazenamento

Para armazenamento de dados, foi utilizado um Módulo Leitor de Cartão Micro SD, projetado para permitir que plataformas baseadas em microcontroladores leiam e gravem informações em cartões de memória micro SD. Este módulo opera com tensão de 3,3 V, mas já vem equipado com um divisor de tensão integrado, o que facilita a comunicação com microcontroladores que utilizam nível lógico de 5 V. A comunicação entre o módulo e o microcontrolador é realizada através do protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*). Além disso, o SCM (*System Content Manager*) é responsável por complementar o processo de leitura e gravação de arquivos no cartão de memória, garantindo a integridade e a formatação adequada dos dados durante o armazenamento e a recuperação das informações.

Para que o cartão de memória conseguisse ler e armazenar dados, tivemos, com o auxílio de 2 programas, formatar o cartão de memória para FAT32, só assim é que conseguimos obter resultados.

A figura 6 ilustra um Módulo Leitor de Micro SD Card.



*Figura 6 - Módulo Leitor de Micro SD Card.*

### **Características**

- Nível de interface: 5V ou 3.3V;
- Alimentação: 4.5V ~ 5.5V;
- Dimensões (CxLxA): 42x24x3,5mm;
- Peso: 4,4g.

### **3.5 Powerbank**

Para a alimentação do sistema instalado na moto, utilizamos uma powerbank da marca GOODIS, como é representada na figura 7.



*Figura 7 - Powerbank GOODIS.*

Especificações [12]:

- Compatibilidade: Universal;
- Nº de portas USB: 1;
- Fonte de alimentação: Micro USB
- Amperagem (mAh): 4000;
- Voltagem (V): 5.

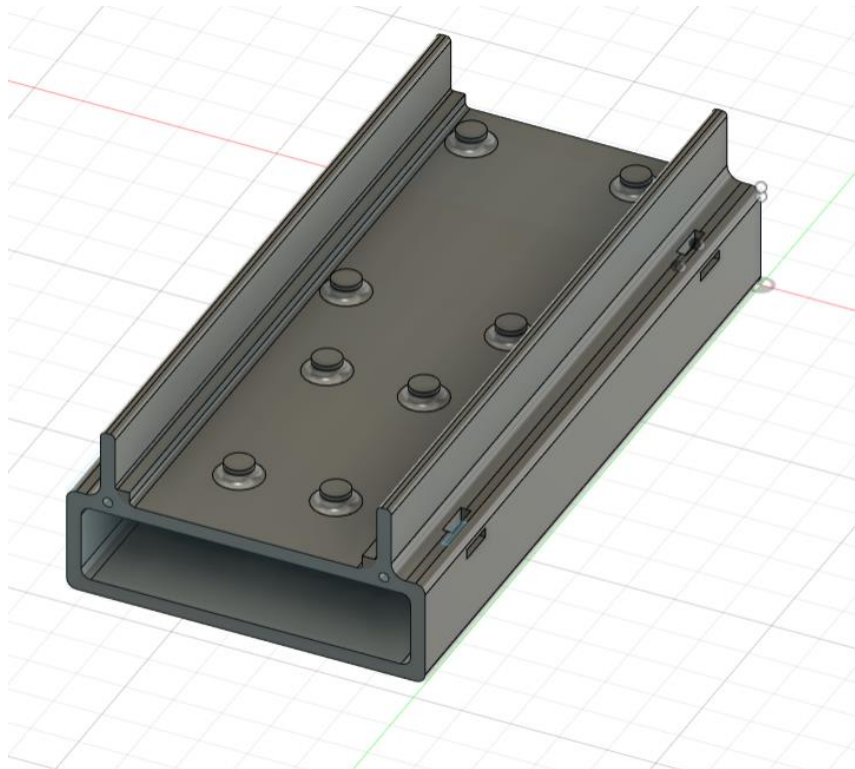
### 3.6 Suportes

Uma vez que os ensaios iam ser realizados em um motociclo, decidi desenvolver um suporte para poder instalar todos os componentes, em que estes permanecessem em segurança durante os ensaios.

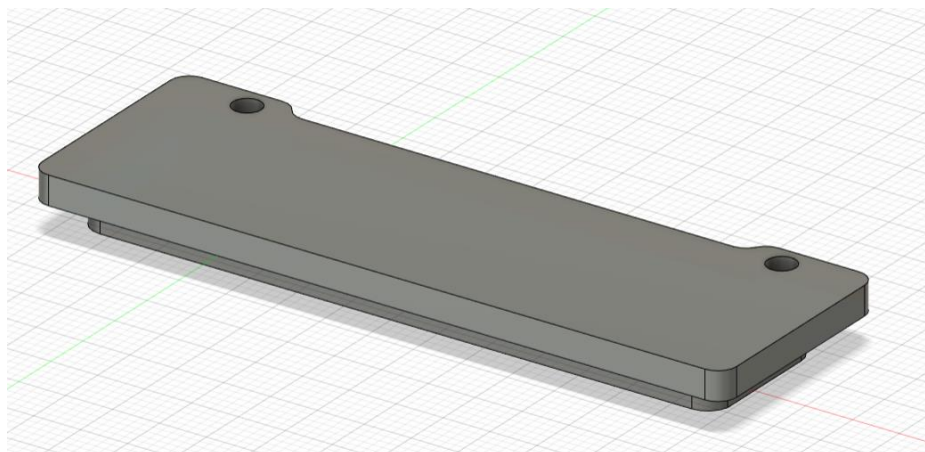
Com o auxílio do software de desenho 3D Fusion 360 desenvolvi 2 peças, uma carapaça como ilustra a figura 8 e uma tampa como ilustra a figura 9.

Para que não houvesse risco da powerbank escapar durante os ensaios, decidi por bem desenvolver uma tampa para o suporte, para que esta não saísse do seu interior.

De salientar que a peça a baixo tem 8 aberturas nas suas laterais, para a colocação de abraçadeira de serrinha para proceder à melhor fixação na moto.



*Figura 8 - Desenho do suporte.*



**Figura 9** - Desenho da tampa.

Depois de concluir o desenho das 2 peças, passamos para a impressão das mesmas em 3D.

Através da importação do ficheiro STL dos desenhos das peças, para o software Ultimaker Cura, que é um software da impressora 3D desenvolvido pela Ultimaker, iniciamos a impressão das peças em PLA vermelho.

Após a conclusão da impressão tive de retirar os excessos de material criado pela impressora 3D, pois esta cria suportes para que a impressão fique perfeita.



**Figura 10** - impressão 3D do suporte.

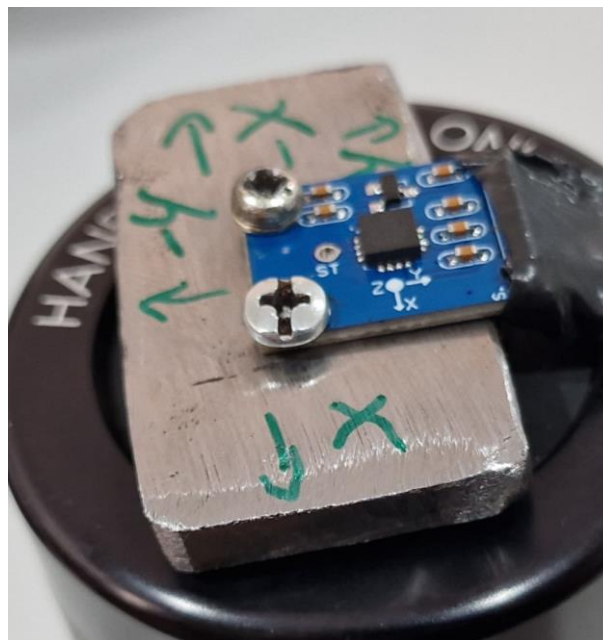


*Figura 11 - impressão 3D do suporte finalizado.*



*Figura 12 - impressão 3D da tampa finalizada.*

O suporte do acelerómetro precisou ser feito de materiais metálicos para garantir que as vibrações fossem corretamente transmitidas e medidas. O metal é eficaz na condução dessas vibrações, enquanto outros materiais poderiam atenuar ou amortecer os sinais, prejudicando a precisão do sistema de captação das vibrações. Isso garante que o acelerómetro capture os dados de maneira eficaz, sem distorções causadas por uma absorção inadequada das vibrações do suporte.



*Figura 13 - suporte metálico do acelerómetro.*

## 4 Programação do Raspberry Pi

Para programar o Raspberry Pi utilizei o programa THONNY versão 4.1.4, onde desenvolvi um código em MicroPython.

### 4.1 Importação das Bibliotecas

```
1 import machine
2 import sdcard
3 import uos
4 import time
5 import utime
6 import gc
7 from machine import Pin, SPI, ADC
```

Figura 14 - Código Importação de Bibliotecas.

- machine: Permite o uso dos pinos do Pico e outros recursos como o SPI, ADC e GPIO.
- sdcard: Controla o cartão SD que vai armazenar os dados.
- uos: Sistema de arquivos para montar o SD.
- time e utime: São usadas para trabalhar com o tempo (esperas e medições).
- gc: Faz a coleta de lixo na memória (liberta espaço quando já não está a ser utilizado).

### 4.2 Configuração dos Pinos para o Sensor ADXL335

```
9 # Pinos analógicos do ADXL335 conectados aos canais ADC do Pico
10 X_PIN = 26
11 Y_PIN = 27
12 Z_PIN = 28
13
14 # Cria objetos ADC para cada eixo
15 adc_x = ADC(Pin(X_PIN))
16 adc_y = ADC(Pin(Y_PIN))
17 adc_z = ADC(Pin(Z_PIN))
```

Figura 15 - Código Configuração dos Pinos para o Sensor ADXL335.

Neste ponto os pinos do acelerómetro ADXL335 são configurados como entradas analógicas. O sensor envia sinais analógicos que o ADC (Conversor Analógico-Digital) do microcontrolador converte em valores digitais.

- **ADC (Analog-to-Digital Converter):** O acelerómetro ADXL335 envia sinais analógicos, que representam a orientação em cada eixo (X; Y; Z), e estas referências são lidas pelos pinos ADC (26, 27, 28) do Raspberry Pi.

### 4.3 Configuração do Botão

```

19 # Configuração dos pinos para o botão
20 PINO_BOTAO = 2
21 botao = Pin(PINO_BOTAO, Pin.IN, Pin.PULL_UP)
22

```

Figura 16 - Código Configuração do Botão.

Um botão é ativado no pino de entrada (PINO 2) para controlar quando o sistema começa a retirar dados.

Ao pressionar o botão começa de imediato a retirar dados, ao pressionar novamente para.

- **Pin.PULL\_UP:** Isto configura uma resistência pull-up interna no botão, garantindo que o valor lido pelo pino seja estável (HIGH quando o botão está solto e LOW quando pressionado).

### 4.4 Configuração do SPI e Cartão SD

```

23 # Configuração dos pinos para o leitor de cartões SD
24 CS_PIN = 17
25 SCK_PIN = 10 # SCK do SPI1
26 MOSI_PIN = 11 # MOSI do SPI1
27 MISO_PIN = 12 # MISO do SPI1
28
29 # Configuração do LED embutido
30 LED_PIN = "LED"
31 led = Pin(LED_PIN, Pin.OUT)
32
33 # Inicializa o cartão SD
34 cs = Pin(CS_PIN, Pin.OUT)
35 spi = SPI(1, baudrate=1000000, polarity=0, phase=0, bits=8, firstbit=SPI.MSB, sck=Pin(SCK_PIN), mosi=Pin(MOSI_PIN), miso=Pin(MISO_PIN))
36
37 try:
38     sd = sdcard.SDCard(spi, cs)
39     vfs = uos.VfsFat(sd)
40     uos.mount(vfs, "/sd")
41     print("Cartão SD montado com sucesso!")
42 except OSError as e:
43     print("Falha ao montar o cartão SD:", e)
44     sd = None

```

Figura 17 - Código Configuração do SPI e Cartão SD.

SPI é um protocolo de comunicação onde o **CS** (Chip Select) escolhe o dispositivo para comunicar, o **SCK** sincroniza os dados com um sinal de relógio, o **MOSI** envia informações do mestre para o periférico, e o **MISO** traz dados do periférico de volta para o mestre.

SPI (Serial Peripheral Interface), permite a comunicação com o SDCard. Aqui, a montagem do SDCard no sistema de arquivos **uos** é tentada, permitindo guardar e ler os dados como em qualquer sistema de arquivos FAT.

- **SPI:** Protocolo de comunicação que permite transferir dados rapidamente entre o microcontrolador e o SDCard.
- **VfsFat:** Sistema de arquivos FAT utilizado no SDCard.

#### 4.5 Conversão dos Valores ADC para G e mm/s<sup>2</sup>

```

46 # Função para converter o valor ADC para g
47 def adc_to_g(adc_value):
48     voltage = (adc_value / 65535) * 3.3 # Corrigido para 65535 (12 bits)
49     g_value = (voltage - 1.65) / 0.33 # Sensibilidade típica é 0.33V/g
50     return g_value
51
52 # Função para converter g para mm/s2
53 def g_to_mms2(g_value):
54     return g_value * 9.80665 * 1000

```

Figura 18 - Código Conversão dos Valores ADC para G e mm/s<sup>2</sup>.

Estas duas funções convertem os valores lidos pelo acelerómetro (ADC) de "g" para mm/s<sup>2</sup>. O sensor mede tensões de 0 a 3,3V, e 1,65V representa o ponto de equilíbrio, ou seja, sem aceleração (0g). Cada 0,33V a mais ou a menos equivale a 1g. Depois de calcular o valor em "g", ele é convertido em mm/s<sup>2</sup> multiplicando pela aceleração da gravidade.

#### 4.6 Criação de Diretórios no Cartão SD

```

57
58 # Função para criar uma nova pasta incremental
59 def criar_novo_diretorio(nome_base):
60     index = 1
61     while True:
62         novo_dir = "/sd/{}".format(nome_base, index)
63         try:
64             uos.mkdir(novo_dir)
65             return novo_dir
66         except OSError:
67             index += 1

```

Figura 19 - Código Criação de Diretórios no Cartão SD.

Essa função cria automaticamente uma nova pasta no cartão SD para armazenar dados, como "teste1", "teste2", etc., aumentando o número se uma pasta já existir. Isso garante que os dados anteriores não sejam substituídos. Ou seja, cada vez que se liga o botão e se inicia uma nova amostragem, cria sempre uma nova pasta.

## 4.7 Calibração do acelerômetro:

```

67 # Função para calibrar o acelerômetro e compensar o offset
68 def calibrar_acelerometro():
69     print("Calibrando o acelerômetro... Mantenha-o parado.")
70     utime.sleep(2) # Espera 2 segundos para estabilizar
71     x_offset = adc_to_g(adc_x.read_u16())
72     y_offset = adc_to_g(adc_y.read_u16())
73     z_offset = adc_to_g(adc_z.read_u16()) # Aqui removemos o ajuste de 1g
74     print(f"Offsets - X: {x_offset}, Y: {y_offset}, Z: {z_offset}")
75     return x_offset, y_offset, z_offset
76
77 # Calibra ao iniciar
78 x_offset, y_offset, z_offset = calibrar_acelerometro()

```

Figura 20 - Código Calibração do acelerômetro.

Esta função tem como função calibrar o acelerômetro, espera 2 segundos (para garantir que o sensor esteja parado) e então lê os valores de cada eixo. Esses valores são salvos como offsets (ajustes), que serão subtraídos das leituras futuras para garantir que, quando o acelerômetro estiver em repouso, os valores de aceleração nos três eixos sejam 0g.

## 4.8 Configuração do Buffer de Dados e Controle de Frequência de Amostragem

```

80 # Variáveis de controle
81 intervalo = 0.00238 # Intervalo em segundos para 100kHz (100000 amostras por segundo)
82 ultimo_estado_botao = 1
83 logging = False
84 diretorio = None
85
86 # Buffer circular para armazenamento temporário
87 buffer_size = 256 # Ajustado para evitar problemas de memória
88 data_buffer = []
89
90 # Calcula a frequência de aquisição em hertz
91 frequencia = 1 / intervalo
92 print("Frequência de aquisição: {:.2f} Hz".format(frequencia))

```

Figura 21 - Código Configuração do Buffer de Dados e Controle de Frequência de Amostragem.

Define-se um intervalo de tempo para retirar dados a 100 kHz (100.000 amostras por segundo) e usa-se um buffer circular com 256 posições. O buffer armazena temporariamente os dados antes de gravá-los no cartão SD, agilizando o processo, já que escrever direto no cartão pode ser mais lento. Isto permite acumular os dados e gravá-los de uma vez, melhorando a eficiência.

## 4.9 Função de Gravação no SDCard

```

94 # Função para gravar o buffer no cartão SD
95 def gravar_buffer_no_sd():
96     if data_buffer and sd:
97         with open("{} /dados_acel.txt".format(diretorio), "a") as arquivo:
98             for entrada in data_buffer:
99                 arquivo.write(entrada)
100         data_buffer.clear()
101         gc.collect() # Libera memória manualmente

```

Figura 22 - Código Função de Gravação no SDCard.

Esta função grava os dados no cartão SD quando o buffer está cheio. O modo "append" ("a") garante que os novos dados sejam adicionados ao final do arquivo, sem apagar o que já estava salvo. A chamada (**gc.collect**) abre a memória que não está a ser utilizada, o que é importante em sistemas com pouca memória.

## 4.10 Loop principal:

```

103 # Variável de controle do piscar do LED
104 led_timer = 0
105 led_interval = 1000 # Intervalo de piscar o LED em milissegundos
106
107 # Variável para armazenar o tempo de início
108 tempo_inicio = 0
109
110 while True:
111     estado_botao = botao.value()
112
113     if estado_botao == 0 and ultimo_estado_botao == 1: # Botão foi pressionado
114         logging = not logging
115         if logging:
116             # Cria uma nova pasta para armazenar os dados
117             diretorio = criar_novo_diretorio("teste")
118             print("Logging iniciado no diretório:", diretorio)
119             # Inicializar o ficheiro para escrita
120             with open("{} /dados_acel.txt".format(diretorio), "w") as arquivo:
121                 arquivo.write("X_g, Y_g, Z_g, X_mm/s2, Y_mm/s2, Z_mm/s2\n")
122             # Acende o LED embutido
123             led.on()
124             tempo_inicio = utime.ticks_ms() # Captura o tempo de início
125         else:
126             # Grava qualquer dado restante no buffer antes de parar
127             gravar_buffer_no_sd()
128             # Calcular a duração e registrar no final do arquivo
129             tempo_fim = utime.ticks_ms() # Captura o tempo de fim
130             duracao = utime.ticks_diff(tempo_fim, tempo_inicio) # Calcula a duração em ms
131
132             # Gravar a duração no arquivo
133             with open("{} /dados_acel.txt".format(diretorio), "a") as arquivo:
134                 arquivo.write("Duração do teste (ms): {}\n".format(duracao))
135
136             print("Logging parado. Duração do teste: {} ms".format(duracao))
137             # Apaga o LED embutido
138             led.off()
139
140         ultimo_estado_botao = estado_botao

```

Figura 23 - Código Loop principal.

- Controlo do botão. Se o botão for pressionado, inicia ou para a recolha de dados:
  - Quando o logging é ativado, cria um novo diretório e inicia a gravação.
  - Quando o logging é desativado, grava os dados restantes e exibe a duração da recolha.

#### 4.11 Recolha dos dados do acelerómetro:

```

142     if logging:
143         # Lê os valores de aceleração do ADXL335
144         adc_x_value = adc_x.read_u16()
145         adc_y_value = adc_y.read_u16()
146         adc_z_value = adc_z.read_u16()
147
148         # Debug: Imprimir valores ADC lidos
149         print(f"ADC X: {adc_x_value}, ADC Y: {adc_y_value}, ADC Z: {adc_z_value}")
150
151         # Converter para g ajustando com os offsets
152         x_g = adc_to_g(adc_x_value) - x_offset
153         y_g = adc_to_g(adc_y_value) - y_offset
154         z_g = adc_to_g(adc_z_value) - z_offset
155
156         # Arredondar os valores
157         x_g = round(x_g, 3)
158         y_g = round(y_g, 3)
159         z_g = round(z_g, 3)
160
161         # Converter para mm/s2
162         x_mms2 = g_to_mms2(x_g)
163         y_mms2 = g_to_mms2(y_g)
164         z_mms2 = g_to_mms2(z_g)
165
166         # Prepara a entrada de dados
167         entrada_dados = "{:.3f}, {:.3f}, {:.3f}, {:.1f}, {:.1f}, {:.1f}\n".format(
168             x_g, y_g, z_g, x_mms2, y_mms2, z_mms2
169         )
170         data_buffer.append(entrada_dados)
171
172         # Grava o buffer no cartão SD a cada 100 amostras
173         if len(data_buffer) >= buffer_size:
174             gravar_buffer_no_sd()
175
176         # Aguarda um período definido pelo intervalo
177         start_time = utime.ticks_us()
178         while utime.ticks_diff(utime.ticks_us(), start_time) < intervalo * 1000000:
179             pass # Espera até que o intervalo especificado seja atingido

```

Figura 24 - Código Recolha dos dados do acelerómetro.

Se o logging estiver ativo:

- Lê os valores do acelerómetro.
- Converte os valores ADC para **g** e, em seguida, para **mm/s<sup>2</sup>**.
- Adiciona os dados ao buffer de amostras e, se o buffer estiver cheio, grava no SD.
- Aguarda o tempo necessário para garantir que o intervalo entre as leituras seja respeitado.

## 4.12 Lógica Principal e Controlo do LED:

```
180 else:
181     # Pisca o LED a cada segundo quando não está registrando
182     if utime.ticks_ms() - led_timer > led_interval:
183         led.toggle()
184         led_timer = utime.ticks_ms()
185     # Aguarda um curto período para esvaziar o processador
186     utime.sleep(0.1)
```

*Figura 25 - Código Lógica Principal e Controlo do LED.*

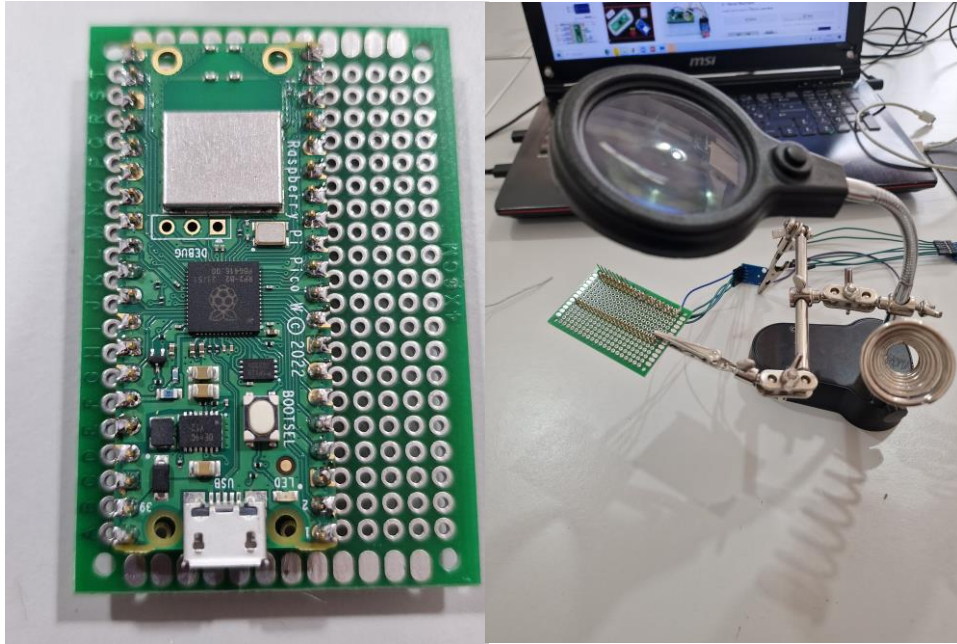
Se o logging não estiver ativo, o LED pisca uma vez por segundo, e o código aguarda um pequeno período de tempo para limpar o processador.

### **Resumo:**

Este código faz a leitura de um acelerómetro ADXL335, converte os dados para g-força e  $\text{mm/s}^2$ , grava as leituras em um cartão SD e permite que o utilizador inicie e pare a gravação usando um botão. Também calibra o sensor para garantir que, quando estiver em repouso, os valores lidos sejam 0g em todos os eixos. E por fim no final de cada leitura de dados indica o tempo em milissegundos da mesma.

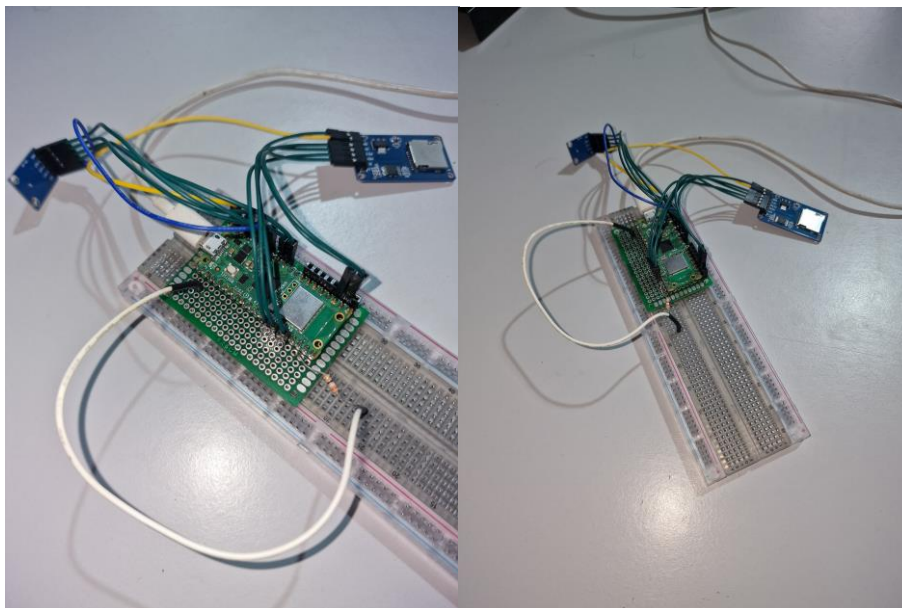
## 5 Montagem e Teste dos Componentes

Primeiro passo foi soldar com estanho o raspberry pi aos pinos conectores e a uma placa, como está representado na figura 26.



*Figura 26 - Soldagem do raspberry pi.*

Depois de ter todos os componentes soldados partimos para a montagem do circuito e com o auxílio de uma breadboard, conseguimos executar mais facilmente todos os testes necessários antes da montagem final.



*Figura 27- Montagem na breadboard.*

Com todos os testes efetuados e bem-sucedidos partimos para a montagem do circuito no suporte como se pode verificar na imagem 28.

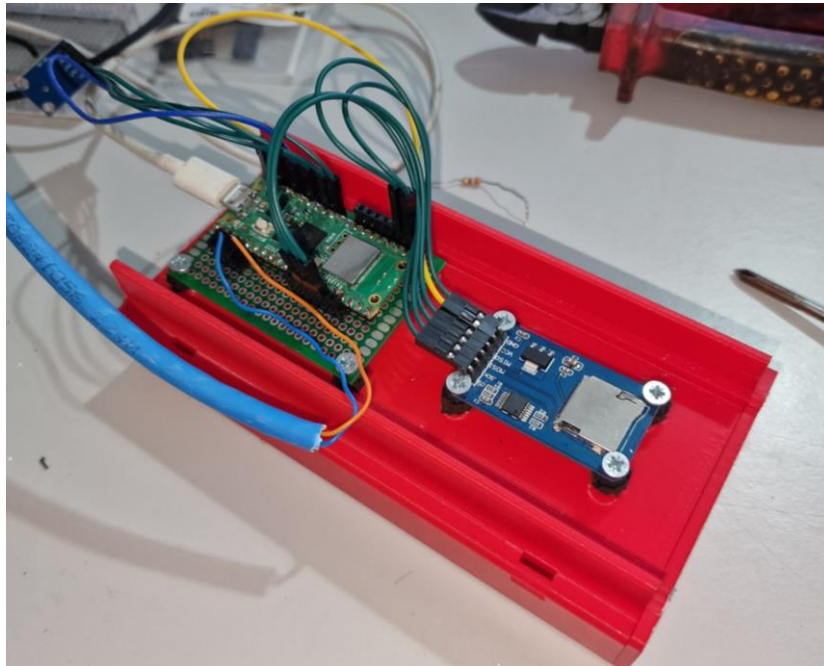


Figura 28 - Montagem no suporte.

Por fim, como se pode constatar na imagem 29, temos representado o esquema elétrico que se desenvolveu para a medição das vibrações na moto.

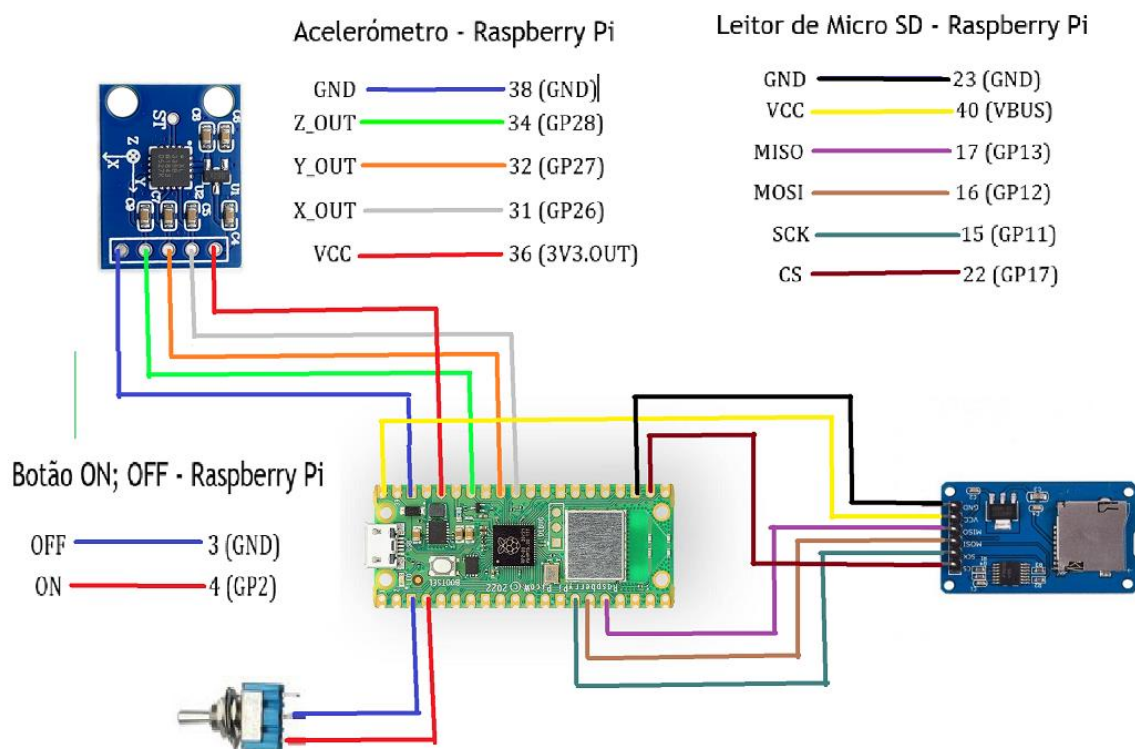


Figura 29 - Esquema elétrico.

## 6 Calibração do Acelerómetro

A calibração de um acelerómetro é crucial para garantir medições precisas e confiáveis. Durante a calibração, as leituras do sensor são comparadas a um padrão de referência conhecido, permitindo ajustes para corrigir possíveis erros. Sem uma calibração adequada, os dados podem ser imprecisos, comprometendo a fiabilidade dos ensaios. Manter um sensor bem calibrado assegura a precisão nas medições e a segurança operacional.

Para este projeto fizemos a calibração com o auxílio outro sensor DYTRAN 313-D 1955, um condicionador de sinal PCB Piezotronics 482A21 um dispositivo multifuncional de aquisição de dados (DAQ) da National Instruments USB-6008, e por fim com o programa LAB VIEW onde a partir de um Diagrama de blocos fornecido que media velocidade, alterei-o para que pudesse medir aceleração.

A figura 30 demonstra todos os equipamentos e ferramentas usados para proceder á calibração do acelerómetro. A calibração foi efetuada com a vibração própria de uma barra de alumínio encastrada na sua extremidade, como podemos observar na primeira imagem.

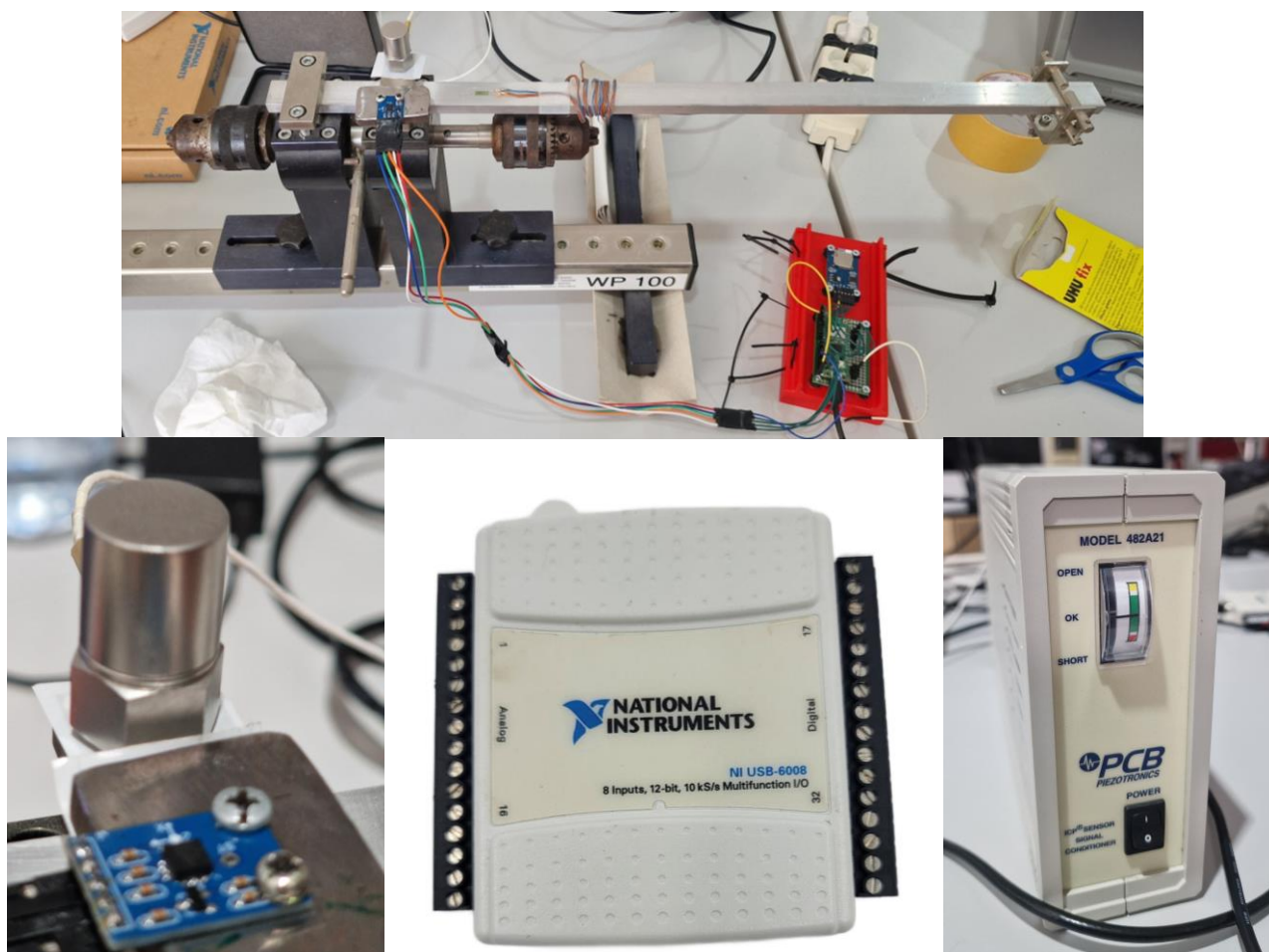


Figura 30 - Instrumentação utilizada para a calibração.

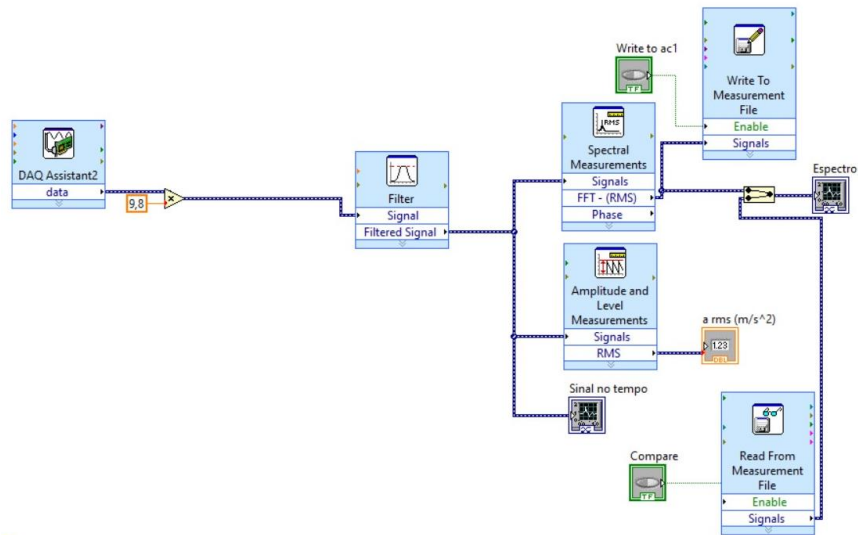


Figura 33 - Diagrama de blocos, medição de aceleração LAB\_VIEW.

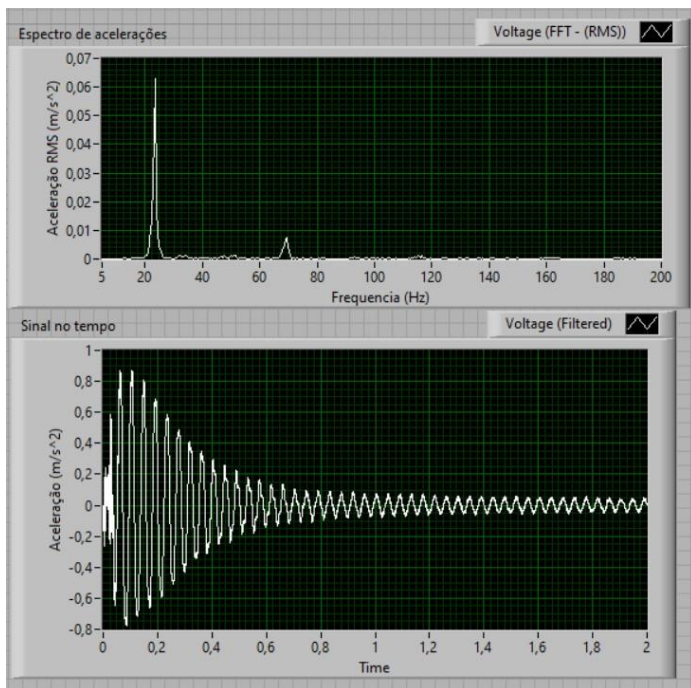


Figura 32 - onda obtida pelo Piezotronics 482A21.

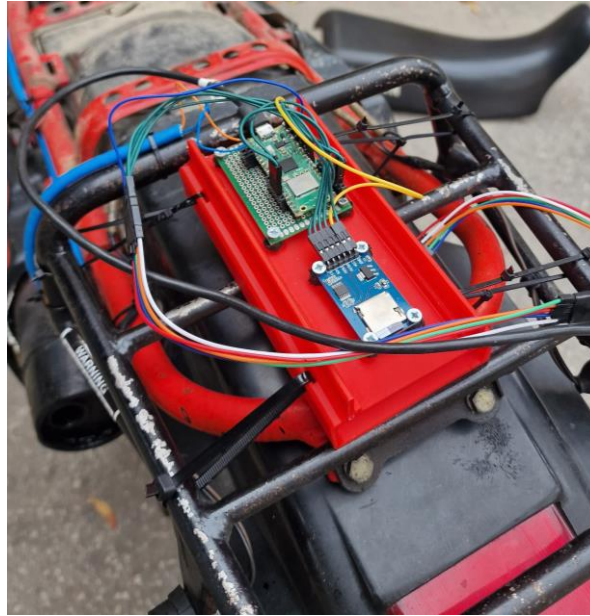


Figura 31 - Onda obtida pelo adxl335.

Feitas as calibrações, comparáramos os valores das duas amostras, e podemos constatar que os valores obtidos estão bastante próximos, uma limitação desta calibração é, por ser feita com 2 pessoas, que nunca conseguem estar 100% em sintonia a ligar e desligar os sensores o que origina uma pequena diferença no espaço e no tempo de captação do sinal transitório, que leva a que os valores possam divergir.

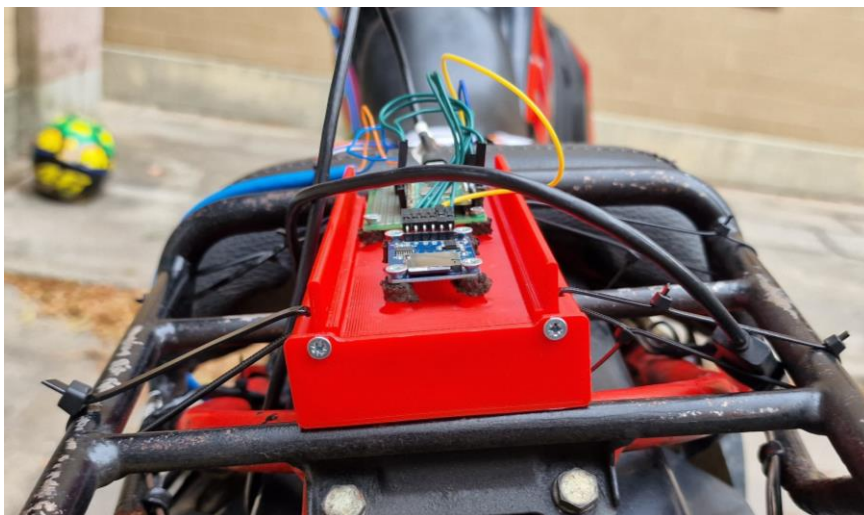
## 7 Montagem Final do Sistema

Na montagem final do circuito o suporte foi instalado e fixo com 4 abraçadeira de serrinha em uma grade na traseira da a moto.



*Figura 34 - Montagem do sistema na moto.*

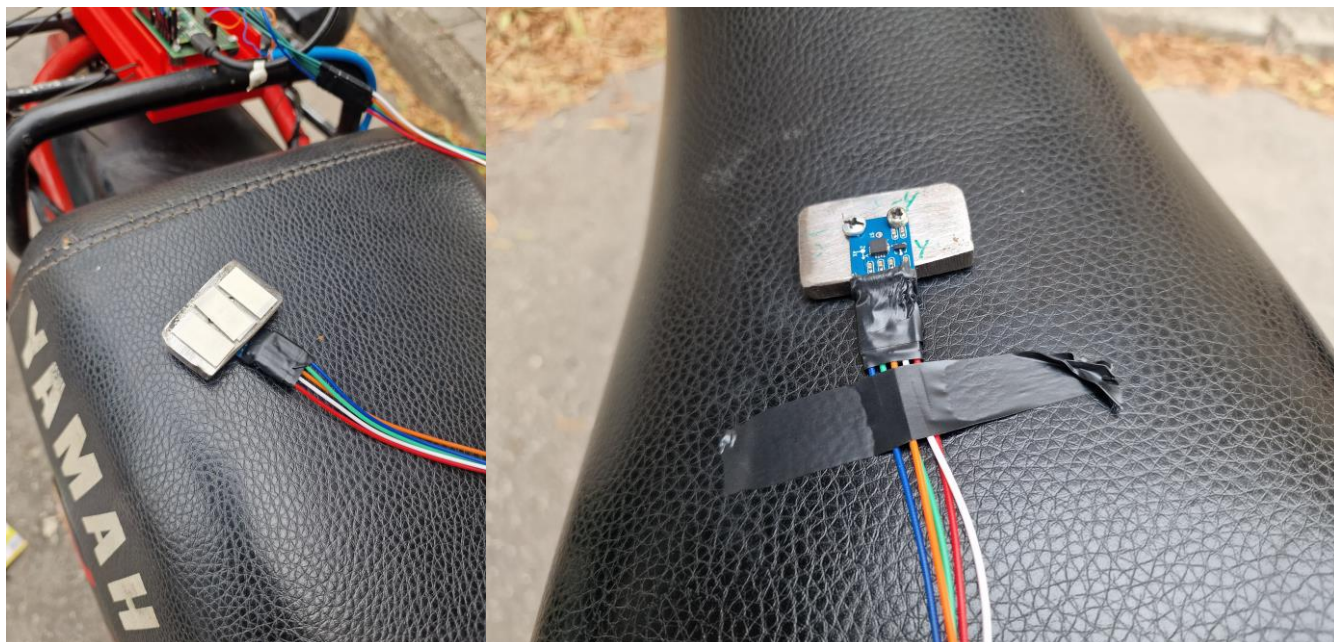
A powerbank foi introduzida dentro do suporte e fechada lá dentro com a colocação e aparafusamento da tampa, saindo só um cabo micro USB para a alimentação do rasbery pi.



*Figura 35 - Montagem do sistema na moto, tampa traseira.*

O acelerómetro foi fixado com 2 parafusos num suporte de metal que por sua vez foi colado com fita cola de dupla face ao banco da moto, conforme as diretrizes da posição do condutor que é citada na norma.

Para melhorar o conforto do condutor e de melhorar a proteção do acelerómetro ainda foi adicionado um papel esponja.



*Figura 36 - Instalação do acelerómetro no banco da moto.*



*Figura 37 - Colocação de papel espuma.*

Foi ainda instalado um botão ON OFF no guidador da moto, para poder ligar e desligar o circuito mais facilmente.



*Figura 38 - instalação do botão ON OFF.*

Na Figura abaixo verificamos o resultado da montagem final do circuito na moto.



*Figura 39 - Moto já com o circuito todo montado.*

## 8. Trajetos e Caracterização dos Pisos

Para a realização dos ensaios decidimos fazer em 3 tipos de percursos/pisos diferentes.

Os percursos foram percorridos 2 vezes por um condutor com o peso de 88 kg.

É de salientar que a moto está equipada com um par de pneus Mitas E-09 novos com uma pressão de 2 bar cada um, ou seja, um pneu cardado de enduro, que para estes tipos de testes não é o mais apropriado, parecendo que não é um pneu bastante mais irregular que um de estrada. Para finalizar tenho a referir que as jantes da moto devido à idade e ao uso, já não estão com o alinhamento a 100% o que resulta em alguns empenos, o que pode ter influência nos resultados finais



*Figura 40 - Pneus Mitas E-09*

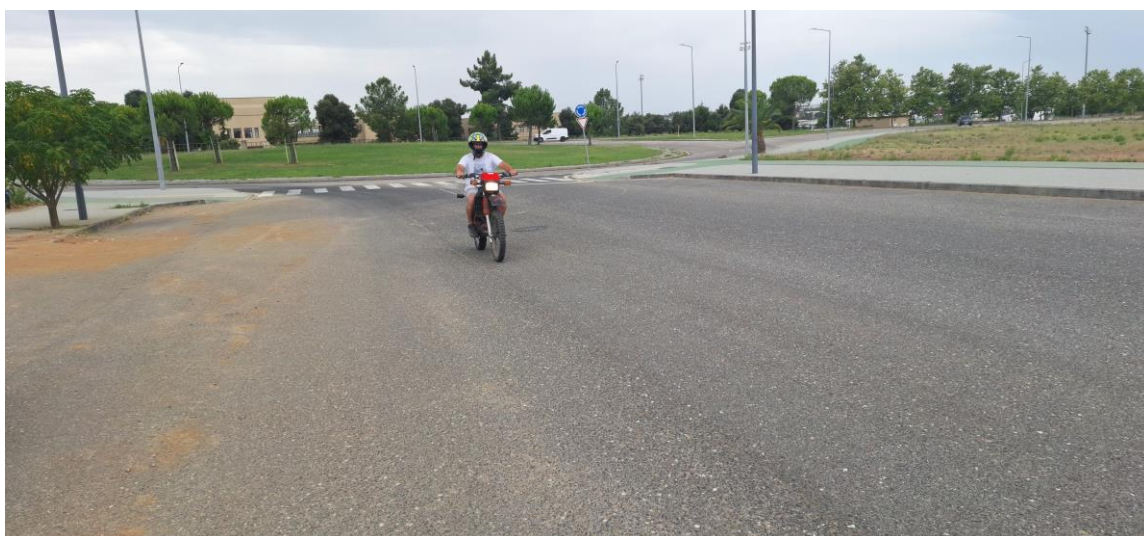


*Figura 41 - Pneu traseiro da moto.*

No percurso A o piso é alcatrão, com algumas irregularidades, constituído por 2 retas e uma rotunda, foi percorrido cerca de 500 metros.



*Figura 42 - Percurso A.*



*Figura 45 - percurso A piso asfaltado.*

No percurso B o piso é de paralelos (calçada em granito), foi percorrido aproximadamente 410 m.



*Figura 44 - Percurso B.*



*Figura 43 - Percurso B, piso de paralelos (calçada em granito).*

No percurso C o piso é de paralelos (passeio) com altos e baixos, foi percorrido uma distância de 136 metros.



*Figura 47 - Percurso C.*



*Figura 46 - Percurso C, piso de paralelos (passeio).*

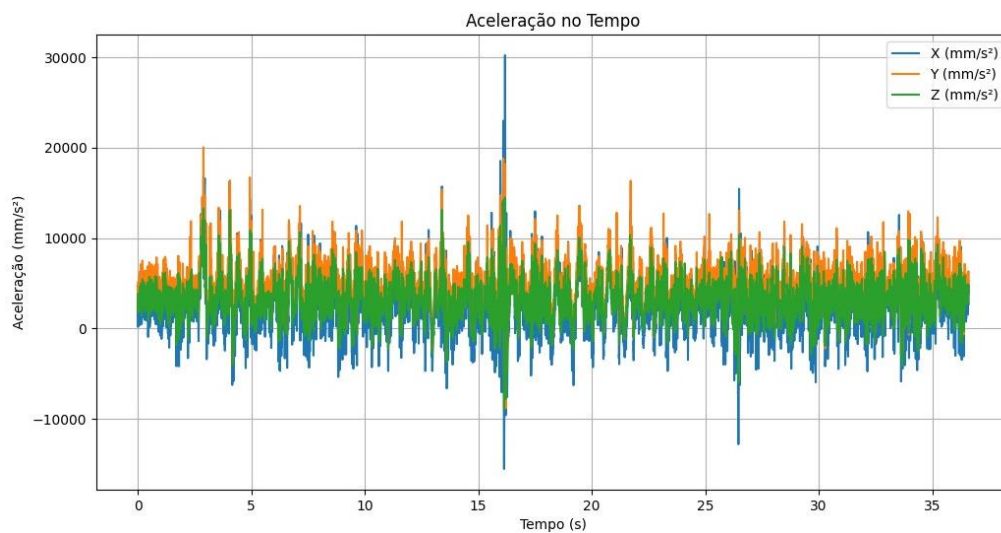
## 9 Apresentação e Análise dos Resultados

### 9.1 Percurso A

No percurso A, de piso asfaltado. No primeiro ensaio demorei cerca de 36,61 segundos e no segundo ensaio demorou-se cerca de, 35,72 segundos. Durante o percurso, a velocidade máxima atingida foi de 55 *km/h*, e uma velocidade media de 49.53 *km/h* no percurso A e de 51.45 *km/h* no percurso B.

*Tabela 2 - Valores máximos de aceleração RMS na trajetória A.*

<b>Percurso A</b>	<b>RMS</b>
1ª Percurso	4,698 <i>m/s<sup>2</sup></i>
2ª Percurso	8,808 <i>m/s<sup>2</sup></i>
<b>Média dos 2</b>	<b>6,753 <i>m/s<sup>2</sup></i></b>



*Figura 48 - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 1º ensaio*

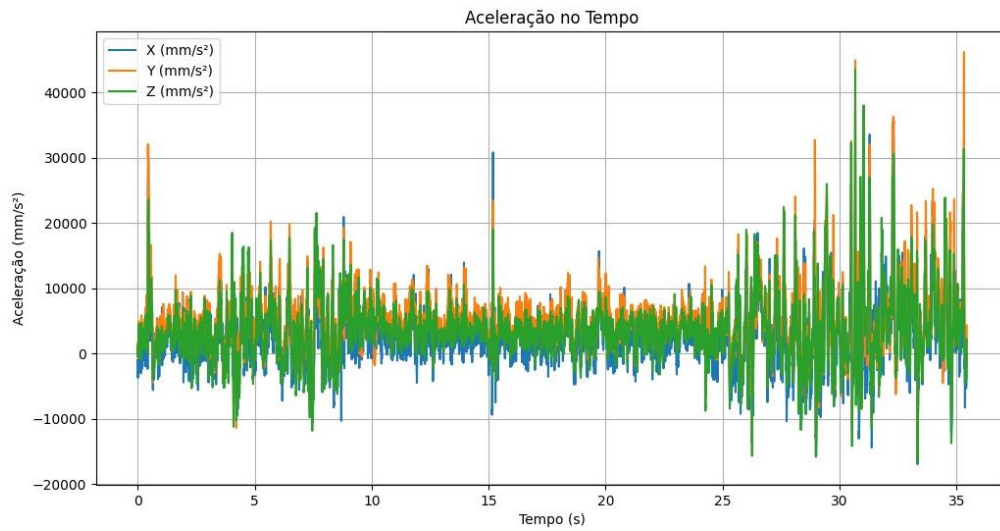


Figura 49 - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 2º ensaio

## 9.2 Percurso B

No percurso B, de piso em paralelos (calçada em granito). No primeiro ensaio demorou-se cerca de 39,48 segundos e no segundo ensaio cerca de, 38,92 segundos. Durante o percurso, a velocidade máxima atingida foi de 50 km/h, e uma velocidade media de 37,46 km/h no percurso A e de 38km/h no percurso B.

Tabela 3 - Valores máximos de aceleração RMS na trajetória B.

Percurso B	RMS
1ª Percurso	7,440 m/s2
2ª Percurso	7,513 m/s2
<b>Média dos 2</b>	<b>7,476 m/s2</b>

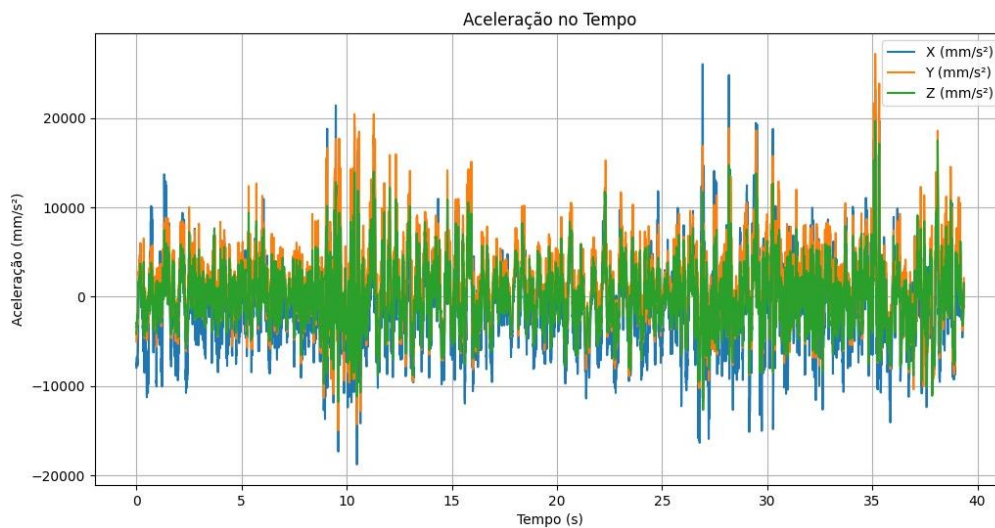


Figura 50 - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 3º ensaio

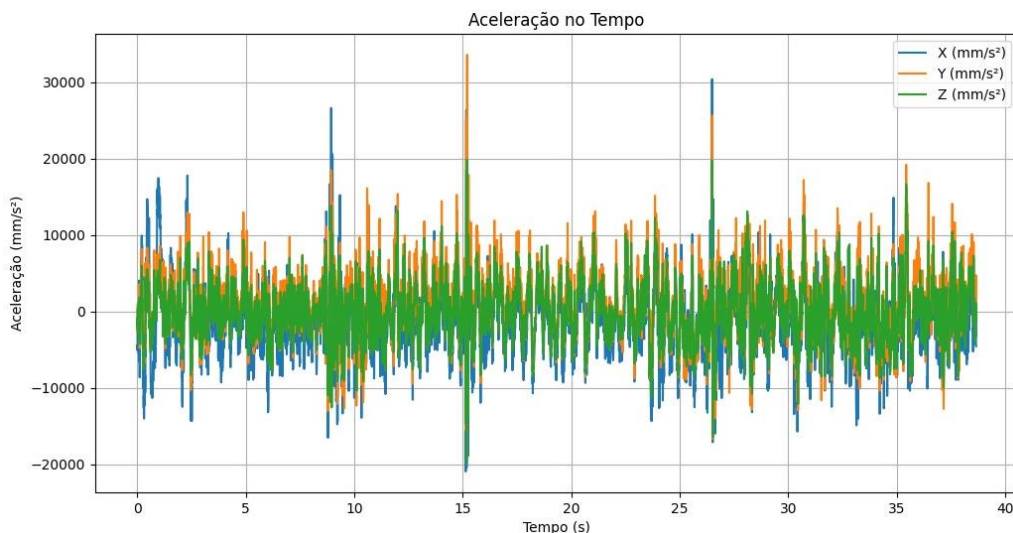


Figura 51- Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 4º ensaio

### 9.3 Percurso C

No percurso C, com piso de paralelos (passeio) com altos e baixos. No primeiro ensaio demorou-se cerca de 13,32 segundos e no segundo ensaio cerca de, 12,1 segundos. Durante o percurso, a velocidade máxima atingida foi de 45 km/h, e uma velocidade media de 36,76 km/h no percurso A e de 40.46km/h no percurso B.

Tabela 4 - Valores máximos de aceleração RMS na trajetória C.

Percurso C	RMS
1ª Percurso	20,512 m/s <sup>2</sup>
2ª Percurso	29,125 m/s <sup>2</sup>
<b>Média dos 2</b>	<b>24,818 m/s<sup>2</sup></b>

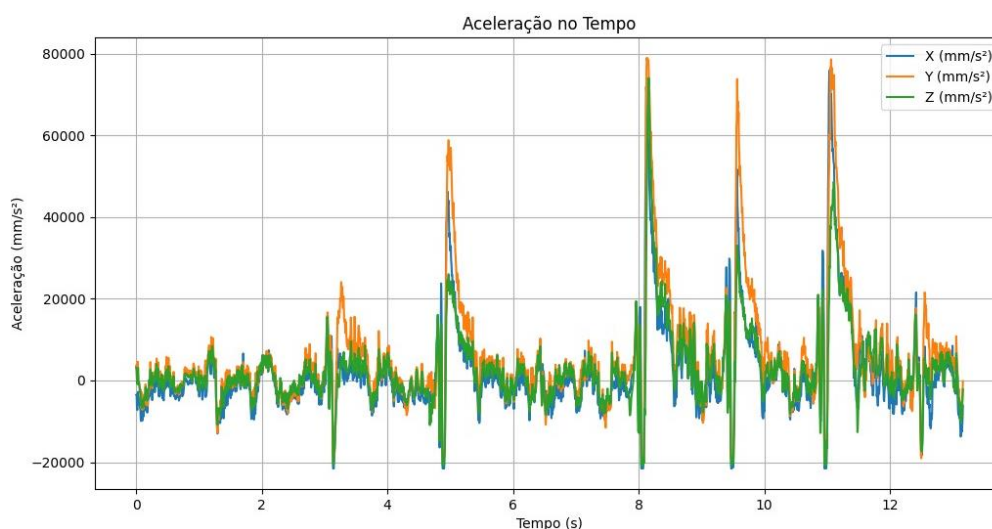
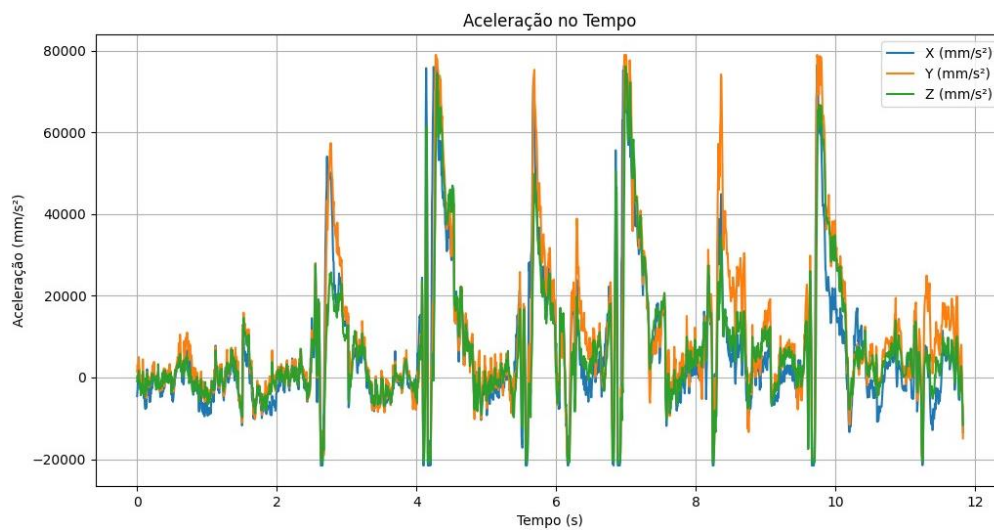


Figura 52 - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 5º ensaio



**Figura 53** - Gráfico, representação da aceleração em (XYZ) no tempo 6º ensaio

## 10 Discussão de Resultados

Com base nos valores de exposição referidos nas Tabelas acima, constata-se que, de facto, a exposição as vibrações para o corpo inteiro transmitidas ao condutor está em extremamente desconfortável no sentido subjetivo de conforto humano, conforme é mencionada na Tabela 1.

Alguns dos motivos que pode estar relacionado a este tipo de desconforto, é o facto da mota estar equipado com um motor a 2T, que por sinal é transmite bastante vibrações em médias e altas rotações, só um à parte, (estes tipo de motores 2T para que se conseguisse que estes motores vibrassem menos, os fabricantes desenvolveram um contrabalanço dentro do motor ligado diretamente à cambota, onde a esmagadora maioria dos motores a 4T já não trazem este dispositivo.)

Também como acima já referido, a moto já tem 37 anos e sendo uma mota mais destinada para o fora de estrada, já não se encontra com a mesma eficiência a nível de suspensões, jantes e folgas como saiu de fábrica.

A pressão e o tipo de pneus com que a mota está equipada também tem bastante influencia nos resultados finais, por exemplo um pneu que se encontra com 1Bar de pressão consegue absorver as irregularidades do piso melhor que se estivesse a 2Bar.

O tipo de pneu sendo cardado também não ajuda no conforto pois foi desenhado a pensar mais na parte de desempenho em fora de estrada, e não tanto para o conforto do condutor.

Como os números não mentem, nas tabelas acima referidas, mesmo todas evidenciando valores que superam e muito o valor máximo de conforto da tabela 1 da norma ISO- 2631, podemos constatar que no percurso A, em estrada asfaltada, os valores foram relativamente mais baixo que os ensaios no percurso B, onde era paralelos, o que demonstra que o tipo de piso tem bastante influencia no nível de conforto que o condutor está exposto.

Já no percurso C onde havia bastante irregularidade, ainda é mais notória as vibrações transmitidas ao condutor, sendo o percurso com o pior nível de conforto, atingindo cinco vezes mais desconforto que o percurso A.

## 11 Conclusão

Este estudo apresentou uma análise detalhada das vibrações transmitidas por um motociclo, destacando a sua influência no conforto do condutor. Utilizando equipamentos eletrônicos como o Raspberry Pi Pico e o acelerómetro ADXL335, foi possível recolher dados relevantes em diferentes percursos e tipos de pavimentos. A análise foi conduzida seguindo as normas ISO-2631, permitindo a obtenção de resultados comparáveis e representativos das condições de condução de uma Yamaha DT125LC.

Os resultados mostraram que o tipo de piso e a condição da moto têm uma influência direta no nível de vibração transmitida ao condutor. Trajetos em asfalto apresentaram menores níveis de vibração, enquanto superfícies mais irregulares, como os paralelepípedos e passeios, proporcionaram valores de vibração significativamente superiores, afetando diretamente o conforto.

As limitações do sistema, como a capacidade da memória RAM do Raspberry Pi e as dificuldades na calibração manual do acelerómetro, mostraram ser pontos que impactaram a precisão dos dados recolhidos. No entanto, estes desafios não invalidaram a validade geral dos resultados obtidos, mas indicam áreas onde melhorias podem ser implementadas.

### 11.1 Limitações

1- A memória RAM do raspberry pi (264 KB) foi uma limitação que fez que não conseguisse processar e armazenar dados com uma taxa de aquisição superior a 169Hz, caso tentássemos o sistema bloqueava devido ao esgotamento da memória.

2 - A calibração do acelerómetro foi uma das limitações durante o projeto, por ser feita com 2 pessoas, que nunca conseguem estar 100% em sintonia a ligar e desligar os sensores o que origina uma pequena diferença no espaço e no tempo de captação do sinal, que leva a que os valores possam divergir.

### 11.2 Propostas para trabalho futuro

Em trabalhos futuros, poderia ser feita medições segundo a norma ISO 5348 e 5349-2 (CARACTERIZAÇÃO DAS VIBRAÇÕES TRANSMITIDAS PELO SISTEMA MÃO-BRAÇO), com a mesma moto deste projeto.

Também seria interessante realizar esta mesma experiência, mas com outro motociclo de mesma cilindrada, ou até mais elevada, ou até com outro tipo de estilo como por exemplo uma moto desportiva de estrada, ou até uma scooter.

Estender a outro tipo de percursos, como estradas de terra batida, cascalho, brita, e autoestradas, etc...

As experiências também podem ser alargadas a motoristas com diferentes pesos e pressões de pneus. Seria também interessante a realização com 2 ocupantes, pois as motas em geral ficam significativamente mais desconfortáveis de serem conduzidas.

## 12 Referências

- Acelerómetro ADXL335, <https://how2electronics.com/interfacing-adxl335-accelerometer-with-raspberry-pi-pico/>, Acedido em março de 2024;
- <https://medium.com/@aquibansari12377/accelerometer-sensor-adxl335-interfacing-with-arduino-uno-c7605b7aabb>, Acedido em março de 2024;
- <https://lastminuteengineers.com/adxl335-accelerometer-arduino-tutorial/>, Acedido em março de 2024;
- <https://embarcados.com.br/gpio-entendendo-as-entradas-digitais-da-raspberry-pi-pico/>. Acedido em março de 2024;
- <https://how2electronics.com/micro-sd-card-module-with-raspberry-pi-pico-micropython/>. Acedido em março de 2024.
- <https://thonny.org/>. Acesso em: 20 de março 2024.
- <https://github.com/printnplay/Pico-CircuitryPython/blob/main/SDCartTest.py>. Acedido em março de 2024.
- <https://www.raspberrypi.com/documentation/microcontrollers/pico-series.html>. Acedido em março de 2024.
- <https://www.instructables.com/Raspberry-Pi-Pico-Micro-SD-Card-Interface/>. Acesso em: 23 de maio 2024.
- <https://www.autodesk.pt/products/fusion-360/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=F360>. Acedido em maio de 2024.
- <https://3dcriar.com.br/ultimaker-cura-para-impressao-3d-de-sucesso/>. Acedido em maio de 2024.
- [https://pt.aliexpress.com/item/1005003219096948.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.63.4164caa4oGYTAx&gatewayAdapt=glo2bra](https://pt.aliexpress.com/item/1005003219096948.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.63.4164caa4oGYTAx&gatewayAdapt=glo2bra). Acesso em: 23 de maio 2024.
- [https://pt.aliexpress.com/item/1005006102317693.html?spm=a2g0o.order\\_list.order\\_list\\_main.68.4164caa4oGYTAx&gatewayAdapt=glo2bra](https://pt.aliexpress.com/item/1005006102317693.html?spm=a2g0o.order_list.order_list_main.68.4164caa4oGYTAx&gatewayAdapt=glo2bra). Acesso em: 23 de maio 2024.
- <https://www.sdcard.org/downloads/formatter/>. Acesso em: 13 de junho 2024.
- <http://ridgecrop.co.uk/index.htm?guiformat.htm/>. Acesso em: 13 de junho 2024.

## **13 Anexos**

1 – Análise de Resultados.