

Universidade de Brasília – UnB
Campus Gama – FGA
Engenharia Eletrônica

**Implementação e Análise de um Circuito
Para Aquisição de Medidas Relacionadas a Vibrações
em Veículos, com Localização Geográfica Sincronizada**

WELLINGTON JÚNIO RODRIGUES

Orientador: Dr. CRISTIANO JACQUES MIOSSO

Coorientadora: Dr. RITA DE CÁSSIA SILVA



WELLINGTON JÚNIO RODRIGUES

Implementação e Análise de um Circuito para Aquisição de Medidas Relacionadas a Vibrações em Veículos, com Localização Geográfica Sincronizada

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

Orientador: Dr. Cristiano Jacques Miosso

Coorientadora: Dr^a. Rita de Cássia Silva

Brasília, DF
2015

Brasília/DF, Dezembro de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

RODRIGUES, WELLINGTON JÚNIO

Implementação e Análise de um circuito para aquisição de medidas Relacionadas a Vibrações em Veículos, com Localização Geográfica Sincronizada

75p., 210 × 297 mm (FGA/UnB Gama, Engenharia Eletrônica, 2015)

Trabalho de graduação em engenharia eletrônica

Universidade de Brasília, Campus Gama – FGA/UnB

- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1. Vibração de corpo inteiro | 2. Circuito de Aquisição |
| 3. Processamento de Sinais | 4. Eletrônica Embarcada |
| I. FGA UnB/UnB. | II. Título (série) |

REFERÊNCIA

RODRIGUES, WELLINGTON JÚNIO (2015). Implementação e Análise de um Circuito para Aquisição de Medidas Relacionadas a Vibrações em Veículos, com Localização Geográfica Sincronizada. Dissertação de graduação em engenharia eletrônica, Universidade de Brasília, Campus Gama, DF, 75p.

FGA/UnB – Universidade de Brasília, Campus Gama

**Implementação e Análise de um Circuito para Aquisição
de Medidas Relacionadas a Vibrações em Veículos,
com Localização Geográfica Sincronizada**

Wellington Júnio Rodrigues

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Eletrônica da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica.

APROVADA POR:

Prof. Cristiano Jacques Miosso, PhD
(Orientador)

Prof. Adson Ferreira da Rocha
(Examinador interno)

Prof. Gerardo Antonio Idrobo Pizo
(Examinador interno)

Resumo

Longas exposições as vibrações de corpo inteiro provocadas por veículos em movimento podem ser bastante prejudiciais à saúde dos profissionais expostos a esse tipo específico de vibração. Por exemplo, os motoristas de ônibus estão submetidos à vibração de corpo inteiro de forma contínua durante todo o expediente de trabalho. Essa exposição pode ocasionar diversos problemas, desde distúrbios no sistema nervoso até danos à região da lombar. Nesse sentido, equipamentos que analisam a exposição à vibração de corpo inteiro são importantes, e alguns equipamentos comerciais são já disponíveis. Entretanto, os equipamentos observados apresentam algumas limitações, como baixa taxa de amostragem, ausência de sensores de localização e ausência de um display instrutivo. Diante do exposto, a proposta do presente trabalho é o desenvolvimento de um equipamento que auxilie no controle dessa exposição da vibração de corpo inteiro, e que calcule a dose de vibração segundo normas vigentes, permitindo a visualização da dose a que o trabalhador está sendo submetido. Além disso, o sistema apresentará alertas quando os níveis estabelecidos pelas normas forem ultrapassados e com a respectiva indicação dos valores das posições geográficas, que indicarão as localizações associadas aos maiores valores de doses de vibração.

A metodologia para a criação desse equipamento seguiu alguns passos básicos que possibilitaram um maior controle no desenvolvimento. Em uma primeira etapa foram levantados os instrumentos que seriam utilizados para todo o desenvolvimento, que consistiu na busca de acelerômetros, microcontroladores adequados e sensores de localização disponíveis no mercado. Posteriormente, foi feito o desenvolvimento do circuito e do *software* utilizado para a aquisição dos sinais.

A parte de desenvolvimento do circuito consistiu no acoplamento dos elementos básicos do projeto, acelerômetro, GPS e os microcontroladores, onde foi utilizado uma comunicação serial entre Arduino Mega e Raspberry PI B para gerar doses geolocalizadas, e posteriormente foi desenvolvido o *software* para a aquisição dos sinais de vibração com os respectivos sinais de localização. Já o *software* desenvolvido consiste de alguns módulos básicos, módulo para a aquisição do sinal proveniente do acelerômetro, módulo para aquisição dos sinais de localização, módulo com instruções para gravar em cartão SD todos os sinais coletados e outros blocos menores que estão diretamente relacionados com cálculo dos valores de doses.

O próximo passo consistiu em vários testes para verificar o funcionamento do circuito e do *software* desenvolvido. Foram realizados diversos experimentos simulando condições reais de uso do equipamento. Foi escolhida uma rota específica para testar o circuito proposto para verificar os resultados obtidos em diferentes condições de vibração. Após realizado os

experimentos foi possível observar que de fato o valor da dose altera de acordo com a região em que está sendo analisada, e que os valores de localização auxiliam no mapeamento das doses nos trajetos onde foi efetuado os testes.

Após a realização dos testes e dos resultados obtidos fica evidente que o sistema possui aplicações interessantes, tal como o monitoramento das doses a que um motorista de veículo de transporte de passageiros está sendo submetido, mapeamento dos valores das doses durante viagens a fim de encontrar as rotas menos prejudiciais a saúde do condutor e também pode ser aplicado como equipamento preventivo para avaliar os valores de doses que máquinas transmitem para o trabalhador durante seu funcionamento.

Palavras-chave: Vibração de corpo inteiro, Acelerômetro, Microcontrolador, Monitoramento de localização, Problemas de saúde, Valor da Dose de Vibração, Análise de exposição, Normas.

Abstract

Long exposures to whole-body vibration caused by moving vehicles can be quite harmful to the health of workers exposed to this specific type of vibration. For example, the bus drivers are subjected to whole-body vibration continuously through the working hours. This situation can cause many problems, ranging from disorders in the nervous system to damage to the lower back. In this regard, equipment that analyze the exposure to whole-body vibration are important, and some commercial equipment are already available. However, the observed equipment show some limitations such as low sampling rate, the absence of location sensors and absence of an instructional display. Given the above, the purpose of this work is to develop a device that aids in the control of this exposure of whole-body vibration, and calculate the vibration dose on current rules, allowing the dose display to which the employee have been submitted. Furthermore, the system will display alerts when the levels established by the current rules were exceeded and the corresponding indication of the geographical position values, which indicate the locations associated with higher doses of vibration values.

The methodology for the creation of this equipment followed a few basic steps that enabled greater control development. In the first stage, the instruments that would be used for all development were raised, which consisted in the search for accelerometers, microcontrollers and suitable location sensors on the market. Posteriorly, it was made the development of the circuit and the *software* used for acquisition of signs.

The development part of the circuit consisted of the coupling of project basic elements, an accelerometer, a GPS and the microcontrollers, which it was used serial communication between Arduino Mega and Raspberry PI B to generate geolocated doses, and later it was developed the *software* for an acquisition of vibration signals with respective location signal. The *software* developed consists of some basic modules, a module for the acquisition from the accelerometer signal, a module for acquisition of locational signals, a module with instructions for recording on SD card all the collected signals e other blocks that are directly related to the calculation of the dose values.

The next step consisted of several tests to verify the operation of the circuit and *software* developed. Several experiments simulating real conditions of use of the equipment were performed. A particular route was chosen to test the proposed circuit to verify the results obtained in different vibration conditions. After performing the experiments, it was observed that in fact the value of dose changes according to the region being analyzed, and that the location of values help in mapping the doses on the paths where the tests were performed.

After the tests and the results obtained it is evident that the system has interesting applications, such as monitoring of doses that a passenger vehicle driver is being subjected, mapping of dose values during travel in order to find the routes less harmful to health of the driver and can also be applied as a preventive device for evaluating the values of doses machines transmit the worker during operation.

Keywords: Whole-body vibration, Accelerometer, Microcontroller, Location monitoring, Health problems, Vibration dose value, Exposure analysis, Current rules.

Sumário

1	Introdução	14
1.1	Contextualização e Problematização	14
1.2	Objetivos	16
1.2.1	Objetivo Geral	16
1.2.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Justificativa	16
1.4	Estrutura da dissertação	17
2	Fundamentação teórica	18
2.1	Vibração de Corpo inteiro	18
2.2	Normas específicas e Diretivas sobre vibração	20
2.2.1	Norma Regulamentadora N°15 Anexo 8 - Vibração	21
2.2.2	Norma Regulamentadora N°09 Anexo 1- Vibração	21
2.2.3	Norma de Higiene ocupacional 09	22
2.2.4	Técnicas para análise dos parâmetros básicos.	22
2.3	Sistemas de medição de vibração	28
2.3.1	Acelerômetros	29
2.3.2	Sensores de pressão	32
2.3.3	Sistema de Posicionamento Global - GPS	34
2.3.4	Plataformas de desenvolvimento e processamento	36
2.4	Dispositivos utilizados	42
3	Metodologia	43
3.1	Sistema Microcontrolado para aquisição e análise de dados de vibração com localização geográfica sincronizada	43
3.2	Análise experimental do sistema desenvolvido para adquirir os dados relacionados a vibração e localização geográfica sincronizada	51
3.2.1	Procedimentos de comunicação entre as plataformas de controle	51
3.2.2	Operação e manipulação de arquivos de exposição e jornada de trabalho	53
3.3	Metodologia para aquisição de sinais de aceleração e localização	54
3.4	Análise de dados de exposição a vibração de corpo inteiro	55
4	Resultados	60
4.1	Primeira Etapa	60

4.2 Segunda Etapa	63
5 Conclusão	70

Lista de Tabelas

2.1	Frequência de ressonância dos órgãos do corpo humano.	19
3.1	Características técnicas do Arduino Mega e do Raspberry PI B	44
3.2	Explicações sobre componentes de uma sentença NMEA.	49
4.1	Valores característicos dos sinais vibração de corpo inteiro coletados.	63
4.2	Tabela de Doses para valores de localização.	68

Lista de Figuras

2.1	Direções dos eixos ortogonais para medição de vibração de corpo inteiro nas posições sentado e em pé.	19
2.2	Curvas que auxiliam no cálculo para os fatores de ponderação de aceleração para vibrações de corpo inteiro.	25
2.3	Parâmetros básicos para avaliação.	27
2.4	Esquemático de um acelerômetro capacitivo.	30
2.5	Esquemático de um acelerômetro Piezoelétrico.	31
2.6	Exemplo de estrutura básica de acelerômetro com um sistema massa-mola.	31
2.7	Esquemático da estrutura de um sensor FSR.	32
2.8	Esquemático do comportamento típico de um sensor FSR.	33
2.9	Curva de repetibilidade de um sensor FSR.	33
2.10	Características do sensor FSR.	34
2.11	Símbolos padrões utilizados no formato NMEA.	36
2.12	Segmentos do GPS.	36
2.13	<i>Shield</i> do GPS para Arduino.	37
2.14	Arduino Uno, Mega, Leonardo e Nano.	39
2.15	Raspberry PI B com enumeração dos principais módulos	39
2.16	Rasp	40
3.1	Modelo do circuito inicial.	45
3.2	Diagrama de Blocos do circuito desenvolvido.	46
3.3	Filtros projetados e os valores disponíveis na ISO 2631.	48
3.4	Exemplo de um trecho do arquivo com instruções NMEA gerado ao final da rota.	49
3.5	Comunicação simples entre Arduino Mega e Raspberry	50
3.6	Esquemático do fluxo de informação no Arduino Mega.	57
3.7	Esquemático do fluxo de informação no Raspberry PI B.	58
3.8	Exposições para jornada 1.	59
3.9	Doses resultante após pressionar fim de jornada.	59
4.1	Sinais de vibração adquiridos para o eixo X.	60
4.2	Trechos destacados para identificação da variação da amplitude nas duas regiões selecionadas.	61
4.3	Particionamento manual da rota estabelecida em 44 trechos.	62
4.4	Concatecação do sinal de aceleração e localização	64
4.5	Valores de aceleração avaliados no eixo Z durante teste.	65

4.6 Rota original e rota mapeada utilizando dados de localização. 67

Lista de Símbolos

WBV	<i>Whole Body Vibration</i>
HAV	<i>Hand Arm Vibration</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
SD	<i>Secure Disk</i>
Hz	<i>Hertz</i>
NR	<i>Norma Regulamentadora</i>
NHO	<i>Norma de Higiene Ocupacional</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
EC	<i>European Commission</i>
a_j	<i>Aceleração instantânea ponderada</i>
am_j	<i>Aceleração média</i>
RMS	<i>Root mean square</i>
am_r	<i>Aceleração média resultante</i>
$arep_i$	<i>Aceleração resultante da exposição parcial</i>
are	<i>Aceleração resultante da exposição</i>
$aren$	<i>Aceleração resultante normalizada</i>
VDV_j	<i>Valor da Dose de Vibração</i>
VDV_{ji}	<i>Valor de Dose relativo à componentes de exposição</i>
$VDV_{exp_{ji}}$	<i>Valor da Dose de Vibração da exposição parcial</i>
$VDVR$	<i>Valor da Dose de Vibração Resultante</i>
f_j	<i>Fator de multiplicação relativo aos eixos x,y e z</i>
LE	<i>Limite de exposição</i>
FSR	<i>Force Sensitive Resistor</i>
VCC	<i>Tensão de corrente contínua</i>
GND	<i>Ground</i>
IDE	<i>Integrated Programming Interface</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i>
NMEA	<i>National Marine Eletronics Association</i>
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
SRAM	<i>Static Random Access Memory</i>
EEPROM	<i>Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
PCB	<i>Placa de Circuito Impresso</i>
LED	<i>Light Emitter Diode</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
TCC2	<i>Trabalho de Conclusão de Curso 2</i>

1 Introdução

Este capítulo apresenta uma contextualização acerca dos efeitos da vibração de corpo inteiro sobre a saúde dos trabalhadores. Diante dos problemas levantados, é apresentada uma proposta para monitorar os níveis de vibração a que os trabalhadores estão submetidos. Em seguida, são apresentados os objetivos dessa proposta, e a justificativa do trabalho.

1.1 Contextualização e Problematização

Os níveis de vibração dos veículos durante o transporte apresentam um papel importante nos estudos dos danos à saúde que os motoristas sofrem durante as longas viagens.

Os transportes terrestres, em particular, são os que apresentam maior risco de danos por vibração, sobretudo quando se consideram as más condições das vias, como, por exemplo, no caso do Brasil. Nos últimos anos muitas pesquisas vem sendo aperfeiçoadas de modo a entender o comportamento do corpo humano quando exposto à essas vibrações, haja vista que a exposição a essas vibrações causa danos à saúde [1].

A vibração é um fator inerente a todo veículo de transporte [2], mas é diferenciada pelas doses a que os usuários do veículo estão submetidos. Quando a pessoa está submetida a vibração, características do movimento, aliadas ao tempo de exposição, definem o risco de danos à saúde causados por exposição à vibração do veículo [3].

A vibração a que estão expostos os motoristas pode ser dividida em vibração nas extremidades, conhecida também como vibração braço-mão, e a vibração de corpo inteiro. Ambos os tipos são prejudiciais à saúde humana. Essa vibração transmitida ao corpo pode provocar algumas doenças. De fato, segundo a literatura recente, vibrações de corpo inteiro podem provocar:

- Problemas na audição [4];
- Problemas na região da lombar [5, 6];
- Distúrbios vasculares [7];
- Problemas digestivo e de circulação [1];
- Problemas musculares nos membros superiores [8].

Já as vibrações de braço-mão estão associadas a:

- Distúrbios nos nervos periféricos [9];
- Distúrbios musculares [10];
- Problemas ósteo articulares [9];
- Problemas circulatórios [9].

Levando em conta que o transporte rodoviário é o de maior representatividade no Brasil [11] e tem uma importância significativa para o país seja para transporte de carga ou de pessoas, um controle da exposição da vibração de corpo inteiro é muito importante, e um controle maior sobre os valores de vibrações transmitidas ao corpo pode evitar diversos problemas relacionados à saúde. O equipamento comercial disponível para estudo foi o HVM100 que exerce a função de avaliar o valor da vibração em que os condutores de veículos estão expostos mas ele apresenta algumas limitações. Uma limitação é a baixa taxa de gravação dos sinais, já que o equipamento grava uma amostra a cada um minuto de funcionamento. De acordo com o critério de Nyquist [12], uma taxa satisfatória para processamento dos sinais de vibração é superior ao dobro das frequências a serem analisadas. Como frequências de algumas dezenas de hertz podem afetar diferentes órgãos humanos [13], o presente projeto irá utilizar taxas da ordem de centenas de hertz ou mais.

Uma segunda limitação do equipamento analisado é a falta de localização geográfica para vincular a posição com sinal da vibração, de forma a mapear os pontos do trajeto onde existem maiores potenciais de riscos para a saúde do condutor. O ato de poder relacionar os pontos de GPS com o sinal de posição pode possibilitar que as empresas de transporte viabilizem rotas distintas para poder evitar trajetórias que possam gerar doses elevadas de vibração. Isso poderia proporcionar a longo prazo uma redução na perda precoce de força de trabalho, já que doses excessivas de vibração podem provocar a aposentadoria antes dos 45 anos [14].

Diante desse contexto, a proposta deste projeto é desenvolver um sistema que possa fazer aquisição eficiente de sinais associados a vibração de modo a poder fazer uma análise segura das doses de vibração transmitidas. Um ponto diferencial do sistema a ser gerado é a adição dos sensores de GPS, que possibilitará uma integração entre os sensores de pressão ou sensores de aceleração ao respectivo dado de localização. Outro ponto de destaque da proposta é a taxa de aquisição da ordem de centenas de hertz ou mais. Essa característica proporciona um melhor mapeamento do trecho percorrido e uma análise efetiva dos sinais segundo o critério de Nyquist [12]. Por final haverá um sistema de visualização que possibilitará uma comunicação mais fácil com os usuários do equipamento, indicando a qual dose o produto

está sendo submetido e gerando alertas quando o trabalhador estiver submetido a níveis acima do permitido de acordo com as normas vigentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Implementar um sistema eletrônico para aquisição de sinais de aceleração e localização geográfica de condutores de veículos de transporte urbano.

1.2.2 Objetivos Específicos

A finalidade desse estudo é a criação de um sistema, que possa adquirir sinais relacionados à vibração de veículos automotores. Nesse sistema serão incluídos acelerômetros, sensores de pressão, sensores de velocidade e GPS. A aquisição dos sinais de vibração será relacionada automaticamente, com o valor da dose para o trecho especificado. Após a aquisição dos valores das doses e do sinal de vibração mapas serão elaborados para ilustrarem de forma esquemática os trechos onde a dose ultrapassou os limites, de acordo com as normas vigentes. De posse dos valores de vibração algumas características do sinal serão extraídas de modo a auxiliar na análise junto com os valores da dose, essas características dos sinais seriam o valor RMS e a frequência mediana. Essas características auxiliarão na análise dos sinais relacionados à vibração.

O circuito desenvolvido será testado junto com o modelo comercial HVM100 de modo a destacar os pontos de vantagens do produto desenvolvido, os valores das doses serão comparados para os dois equipamentos operando em situações reais, e será verificado se ele pode ser um produto funcional para viabilizar as condições de vibração de acordo com as normas existentes no país tais como o anexo número 8 da NR-15 Portaria SSMT nº12, de 06 de junho de 1983 [15].

1.3 Justificativa

O principal diferencial da criação desse sistema em relação ao atual HVM100 é a criação de hardware e um algoritmo para associação do valor do sinal de vibração com o respectivo ponto de localização geográfica, o que possibilita o mapeamento dos locais com maiores

índices de doses de vibração para que possam ser evitados em futuras rotas do veículo. A possibilidade de gerar novas rotas é um fator importante pois poderá viabilizar uma menor exposição a vibração, conseqüentemente uma melhor saúde ocupacional para os condutores e um menor desgaste para o veículo, já que a vibração está muitas vezes relacionada as más condições das rodovias.

A taxa de gravação, que é um problema existente no atual produto, vai ser sanada com a criação desse dispositivo pois ele vai ter uma taxa da ordem de centenas de hertz. Com uma taxa de uma amostra por minuto, características importantes dos sinais são perdidas, características essas associadas a componentes espectrais na faixa de dezenas de hertz e comprovadamente vinculadas a problemas de saúde.

Além disso, o sistema também poderá contribuir para para o aperfeiçoamento das condições de trabalho dos diversos setores, adequando assim uma melhor atividade de trabalho e prolongando a vida útil de muitos trabalhadores no mercado de trabalho.

1.4 Estrutura da dissertação

No Capítulo 2, serão abordados conceitos sobre vibração de corpo inteiro, normas vigentes no país, forma de aquisição do sinal de vibração e do sinal de GPS e análise dos componentes que serão utilizados no projeto.

No Capítulo 3, serão abordados todos os procedimentos para criação do hardware e algoritmos utilizados para a aquisição e análise de todos sinais envolvidos. Serão apresentados ainda diagramas de bloco e diagramas elétricos dos circuitos completos.

No Capítulo 4, serão apresentados todos os resultados alcançados durante a realização dos testes para comprovar o funcionamento do sistema elaborado.

O Capítulo 5, será apresentado a conclusão que foi obtida após a análise dos resultados obtidos, limitações encontradas durante a realização e propostas para a continuação do trabalho.

2 Fundamentação teórica

Neste capítulo são apresentados os fundamentos essenciais de vibração de corpo inteiro e suas consequências sobre saúde humana. São apresentados ainda os princípios acerca dos instrumentos utilizados na aquisição dos sinais de vibração e de localização. Finalmente são discutidas as normas relacionadas à vibração de corpo inteiro em âmbito nacional e internacional.

2.1 Vibração de Corpo inteiro

A vibração de corpo inteiro é conceituada como sendo toda vibração transmitida ao corpo como um todo e não analisando apenas apenas extremidades como ocorre na análise de vibração braço-mão. Essa transmissão de vibração ocorre muitas vezes por superfícies de suporte, pode ser recepcionada pelo trabalhador esteja ele em pé ou sentado como pode ser visto na figura 2.1. No caso de condutores de veículos de transporte urbano eles estão submetidos diariamente e continuamente a vibração de corpo inteiro, essa exposição contínua deve ser limitada já que a exposição desses motoristas a vibração de corpo inteiro e a vibração relacionada a ruídos de buzina e ruído relacionado aos carros de propaganda que estão em grandes centros urbanos podem proporcionar uma maior probabilidade de causar danos à saúde [16] [4].

A vibração de corpo inteiro é um fator praticamente inerente a muitas atividades dos trabalhadores nas grandes indústrias e a exposição prolongada a fator pode contribuir para problemas de saúde [1]. De certo modo a vibração de corpo inteiro é prejudicial a saúde humana mas existe ocasiões em que tal exposição de modo controlado pode prover soluções para alguns problemas como a osteoporose [18]. Muitas pesquisas apontam que existe a possibilidade de exercícios que utilizam como princípio vibrações de corpo inteiro podem ser utilizados para fortalecer membros inferiores [19]. Logo, não pode-se tratar a vibração de corpo inteiro como um fator apenas negativo. Como essa vibração apresenta essas duas polaridades de efeitos sobre a saúde humana o mais adequado a se realizar é uma adequada aferição dos níveis em que os trabalhadores podem ser submetidos a essa vibração sem que provoquem danos a saúde.

Cada órgão do corpo humano possui sua frequência de ressonância característica. Quando a frequência externa equipara-se à frequência de oscilação natural dos objetos ou órgão, os órgãos sofrem alterações possivelmente graves em seu funcionamento [20]. O corpo humano

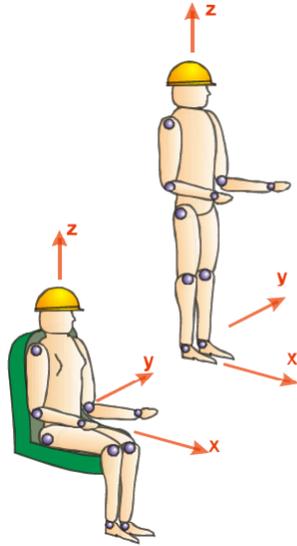


Figura 2.1. Direções dos eixos ortogonais para medição de vibração de corpo inteiro nas posições sentado e em pé. Fonte: [17].

reage de diferentes maneiras, a exposição continuada a vibração de corpo inteiro provoca inúmeros problemas relacionados à saúde.

Tabela 2.1. Frequência de ressonância dos órgãos do corpo humano. Fonte [13].

Órgãos	Frequência(Hz)
Pulmões	4 a 8
Abdômen	4 a 8
Ombros	4 a 8
Coluna	8
Mãos e Braço	20 a 70
Tórax	60
Globo Ocular	60 a 90
Maxilar	100 a 200

Muitos pesquisadores nacionais e internacionais desenvolveram pesquisas onde buscaram salientar os problemas que a exposição à vibração de corpo inteiro pode causar no trabalhador. A exposição continuada pode causar problemas relacionados sistema nervoso, circulatório e digestivo [1]. Mas esses problemas não se manifestam apenas devido a presença de vibração de corpo inteiro no ambiente de trabalho, depende também das outras

condições de trabalho. A exposição a essa vibração ocupacional é um dos principais fatores que provocam a aposentadoria antes dos 45 anos de condutores de transportes coletivo [14], isso deve-se ao fato que a exposição excessiva a vibrações mecânica provoca problemas nas costas o que os impossibilita de exercer o seu trabalho, os problemas na lombar é um dos principais problemas das pessoas que estão expostas a vibração de corpo inteiro [6].

Devido a esses problemas advindos após a exposição à vibração de corpo inteiro surgiram normas para tentar regulamentar até que ponto o trabalhador pode ficar exposto a determinada vibração. Os dois parâmetros utilizados para qualificar se os valores expostos são prejudiciais são, o valor da dose de vibração resultante(VDVR) e o valor da aceleração resultante da exposição normalizada(*aren*). A VDVR é definida por [21]

$$VDVR = \sqrt[4]{\sum_{i=j}^n VDV_{expj}^4}, \quad (2.1)$$

onde VDV_{expj} representa o valor da dose de vibração da exposição, com base nos critérios estabelecidos pela NHO 09, sempre que o valor da dose de vibração resultante(VDVR) for superior a $21 \text{ m/s}^{1.75}$, o limite de exposição estará excedido e será necessário a tomada imediata de medidas corretivas visando controlar os níveis de exposição a vibração de corpo inteiro. Já a aceleração resultante da exposição normalizada é dada por [21]

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}}, \quad (2.2)$$

onde *are* corresponde à aceleração resultante da exposição que é dado em valores de m/s^2 , representativa da exposição diária em que o trabalhador está submetido, T e T_0 são respectivamente o tempo de duração da jornada de trabalho e o tempo definido de 8 horas ou 840 minutos.

Na próxima seção serão dispostas as normas vigentes em relação a vibração de corpo inteiro, e essas equações acima mencionadas virão de uma forma mais contextualizada na respectiva norma. Serão descritas as medidas corretivas que podem controlar ou minimizar os níveis de exposição a vibração de corpo inteiro.

2.2 Normas específicas e Diretivas sobre vibração

Existem inúmeras normas que tratam do tema de exposição de vibração de corpo inteiro, foi selecionado um conjunto de normas que estruturam todas as regulamentações no que refere-se a vibração transmitida ao corpo como um todo. O objetivo desse trecho é

proporcionar uma visão ampla das seguintes normas vigentes seja em território nacional ou internacional, essas normas estão dispostas logo abaixo e no decorrer será devidamente explicados os trechos de maior importância.

- Norma Regulamentadora N° 15 - Anexo 8 : Vibração
- Norma Regulamentadora N° 09 - Anexo 1 : Vibração
- Norma de Higiene Ocupacional 09
- ISO 2631-1/1997
- Diretiva Européia 2002/44/EC

2.2.1 Norma Regulamentadora N°15 Anexo 8 - Vibração

O objetivo do anexo 8 da norma em questão é o estabelecimento de critérios para avaliar se a exposição às vibrações de corpo inteiro e braço-mão se enquadram em condições insalubres de trabalho. Essa norma estabelece os limites de exposição a vibração de corpo inteiro e vibração braço-mão, diante de tais condições fica o empregador tomar responsável por tomar as devidas precauções visto que o ato de ultrapassar os limites enseja um grau de insalubridade médio, isso proporciona um adicional na remuneração final do trabalhador. Essa norma como pode ser visto é bem geral, mas ela está vinculada a outras normas que possuem um profundidade de detalhes consideravelmente maior.

2.2.2 Norma Regulamentadora N°09 Anexo 1- Vibração

Esse anexo é bem parecido em termo de estrutura com o anexo citado anteriormente, mas agora trate-se das formas de prevenir doenças e distúrbios ocasionados devido a exposição ocupacional as vibrações de corpo inteiro e braço mão, essas medidas preventivas enquadram-se no no Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Os empregadores devem adotar medidas que visem assegurar o controle da exposição dos trabalhadores à vibrações mecânicas, de modo que tal exposição seja com segurança e não afete a saúde dos funcionários. Tais medidas de prevenção devem ser adotadas na ausência de tecnologias que limitem a exposição a vibrações de corpo inteiro e braço-mão.

Esse anexo também estabelece os limites em que os trabalhadores podem ficar expostos de modo que os potencias de riscos a saúde sejam mínimos, esses valores limites são os mesmos encontrados anteriormente no anexo 8 da norma regulamentadora N°15, tais valores

serão descritos quando iniciar o estudo sobre a Norma de higiene Ocupacional, visto que essa normas trata com mais vigor os dados dos limites e traz consigo os métodos para avaliar esses limites.

2.2.3 Norma de Higiene ocupacional 09

Essa norma técnica em questão foi desenvolvida pela Fundacentro e estabelece os valores de nível de ação, que são valores abaixo dos limites aceitáveis mas já merece uma atenção especial do empregador em tomar medidas preventivas em relação a exposição do trabalhador à vibrações de corpo inteiro. É necessário avaliar constantemente a exposição, comunicar e auxiliar os trabalhadores, além de implementar o controle médico e de novas tecnologias com foco no agente, vibração. Algumas medidas simples que se tomadas de forma adequada podem reduzir de forma significativa a exposição de vibração de corpo inteiro, tais como, pense no exemplo de um motorista de ônibus ou de trator eles estão expostos à vibração de forma contínua e medidas preventivas como adotar velocidades adequadas no uso do veículo, evitar quando possível superfícies irregulares ou estradas com má qualidade e ajustar o assento do veículo em relação ao posicionamento e ao peso do condutor [22]. Quando o nível de ação é superado o potencial de ocorrer algum problema de saúde é bem maior principalmente na região da lombar [6].

A seguir será desenvolvido as técnicas dispostas na respectiva norma sobre a exposição de vibração de corpo inteiro, onde será descrito todas as ferramentas necessárias para o cálculo dos parâmetros básicos para ser feita uma avaliação adequada da exposição de vibração de corpo inteiro sobre os trabalhadores, o cálculo desses parâmetros que viabilizam o empregador a tomar medidas corretivas para o controle da exposição de vibrações mecânicas. Essa norma foi baseada nos termos de norma internacional ISO 2631, com as devidas adaptações para atender as exigências do trabalhadores nacionais, visto que o trabalhador nacional tem características físicas distintas do trabalhado europeu.

2.2.4 Técnicas para análise dos parâmetros básicos.

O primeiro passo para obter os parâmetros básicos é a aquisição dos valores de aceleração instantânea ponderada em frequência $a_j(t)$ expressa em m/s^2 que é adquirida pelos sensores que tem como função a aquisição dessa aceleração instantânea, onde o símbolo " j " equivale aos eixos ortogonais x , y e z .

Após a aquisição das acelerações instantâneas o próximo passo é aquisição da aceleração média am_j em valor eficaz (RMS, do inglês root mean square). O valor am_j pode ser obtido

a partir da raiz média quadrática dos diversos valores das acelerações instantâneas coletadas em um determinado instante de tempo $t_2 - t_1$, e é dado por

$$am_j = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a_j^2(t) dt}. \quad (2.3)$$

Os sinais de vibração adquiridos que serão dados em m/s^2 devem ser quantificados e analisados utilizando os procedimentos da equação 2.3 onde se pode obter os valores eficazes dos sinais de vibração, esses valores de aceleração médias têm que ser obtidos para os três eixos ortogonais x, y e z . Após a aquisição dos dados de aceleração média o próximo procedimento é a aquisição dos dados da aceleração resultante amr . Esse valor de aceleração é dado por

$$amr = \sqrt{f_x a_{mx}^2 + f_y a_{my}^2 + f_z a_{mz}^2}, \quad (2.4)$$

onde f_x, f_y e f_z representam os fatores de multiplicação. E é determinado um valor específico para cada eixo ortogonal segundo a seguinte regra:

- 1) fator multiplicativo para eixo x equivale a 1.4 .
- 2) fator multiplicativo para eixo y equivale a 1.0 .
- 3) fator multiplicativo para eixo z equivale a 1.0 .

Essa técnica retorna o valor da aceleração média resultante, de certa forma esse é o primeiro dado que vai proporcionar o início da aquisição de um dos parâmetro básicos relacionados aceleração.

A aceleração resultante da exposição parcial($arep_i$) equivale a aceleração média resultante representativa da exposição ocupacional relativa a determinada exposição " i ", ocorrida em uma determinada parcela de tempo da jornada diária, considerando os três eixos ortogonais, a expressão matemática que fornece tal resultado é descrita da seguinte forma

$$arep_i = \frac{1}{s} \sum_{k=1}^s amr_{ik} \quad (2.5)$$

onde, amr_{ik} representa os valores da aceleração média resultante relativa à K ésima amostra selecionada dentre as repetições da componente de exposição " i " e o termo equivale ao número de amostras da componente de exposição " i " que foram medidas.

A aceleração resultante de exposição(are) corresponde a aceleração média resultante representativa da exposição diária do trabalhador a vibração, considerando os três eixos

ortogonais e as diversas componentes de exposição identificadas, a expressão que retorna esse valor de aceleração e definida como

$$are = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^m n_i \times arep_i^2 \times T_i} \quad (2.6)$$

onde, $arep_i$ representa o valor da aceleração resultante de exposição parcial, n_i equivale ao número de repetições da componente de exposição "i" ao longo de determinada jornada de trabalho, T_i é a duração de exposição para determinada exposição, m representa o número de componentes de exposição que compõem a exposição da jornada diária e finalmente T fornece o tempo de duração da jornada de trabalho. Após adquirir o valor de are , o próximo e último passo para aquisição do primeiro parâmetro para avaliação de exposição de vibração é a obtenção da aceleração resultante normalizada $aren$, que é simplesmente a aceleração calculada no passo anterior adaptada para uma jornada diária de 8 horas, determinado pela seguinte expressão

$$aren = are \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2.7)$$

sendo, are a aceleração resultante de exposição, T tempo de duração da jornada diária de trabalho que pode ser expresso em horas ou minutos e T_0 que é definido como 8 horas ou 480 minutos.

Todas as acelerações consideradas nestes cálculos anteriormente explicitados foram ponderadas em frequência de acordo com a figura 2.2, onde as curvas mostram os fatores de ponderação onde W_k respectivo para o eixo z e W_d respectivo para os eixos x e y de acordo com a norma 2631-1:1997, esta norma é o pilar de referência para a NHO 09.

Após calcular o primeiro parâmetro básico para avaliação da exposição à vibração de corpo inteiro, falta agora o cálculo do segundo e último parâmetro básico para fazer uma avaliação de quão prejudicial pode ser a exposição a vibração de corpo inteiro, esse segundo parâmetro é o Valor da dose de Vibração Resultante que vai ser obtida ao final de alguns procedimentos que serão descritos a seguir.

O valor da dose de vibração corresponde ao valor obtido a partir da utilização do método da quarta potência determinado nos três eixos ortogonais, deve ser expresso em $m/s^{1.75}$, a expressão matemática que define esse Valor da dose de Vibração é expresso da seguinte forma

$$VDV_j = \sqrt[4]{\int_0^t [a_j(t)]^4 dt} \quad (2.8)$$

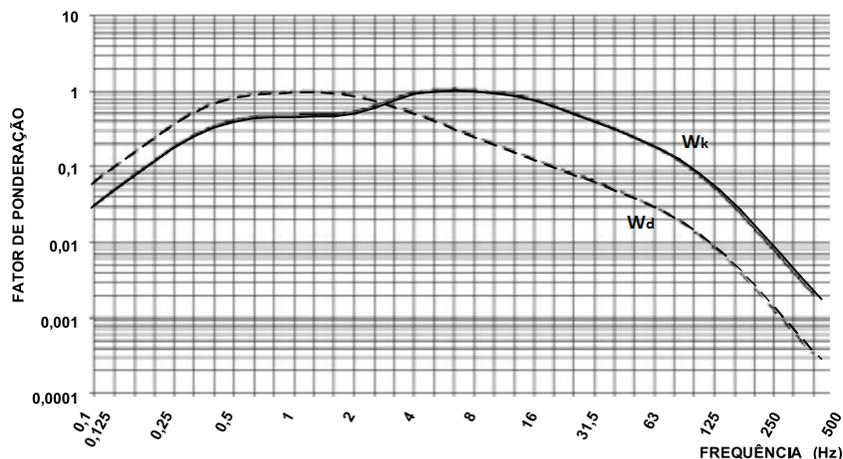


Figura 2.2. Curvas que auxiliam no cálculo para os fatores de ponderação de aceleração para vibrações de corpo inteiro. Adaptada de ISO 2631:1997.

onde, $a_j(t)$ corresponde à aceleração instantânea ponderada em termos da frequência e o termo t refere-se ao tempo de duração da medida.

Valor da dose de vibração (VDV_{ji}) é similar a equação 2.8 só que nesse caso está relacionado ao número "s" de amostras coletadas e ao número de componentes de exposição de vibração de natureza distinta representado pela letra "i". A expressão matemática que proporciona esse valor pode ser visto na equação que segue

$$VDV_{ji} = \sqrt[4]{\sum_{k=1}^s (VDV_{jik})^4} \quad (2.9)$$

onde, VDV_{jik} representa o valor da dose relacionada à Késima amostra selecionada nos três eixos e é expressa em termos de $m/s^{1.75}$.

Muitas vezes o trabalhador está exposto a diferentes formas de vibração de corpo inteiro, tendo em vista essa possibilidade de exposição a diferentes formas e manifestação da vibração de corpo inteiro, tem-se o Valor da dose de vibração da exposição parcial, que corresponde o valor da dose para cada forma de exposição em que o trabalhador está sendo submetido. Sua relação matemática pode ser descrita da seguinte forma

$$VDV_{exp_{ji}} = f_j \times VDV_{ji} \times \sqrt[4]{\frac{T_{exp}}{T_{amos}}} \quad (2.10)$$

Essa dose de exposição parcial é expressa em $m/s^{1.75}$, o valor de VDV_{ji} corresponde ao valor de cada exposição parcial relativo à componente de exposição "i". o termo T_{exp} equivale ao tempo total da exposição ao decorrer de toda a jornada de trabalho, decorrente da

componente da exposição " i " em questão, ou seja, corresponde ao número de repetições da componente vezes o seu tempo de duração. O termo T_a mos corresponde ao tempo utilizado para aferição das amostras representativas da exposição em estudo, e os últimos dois termos são " s " e f_j , que representam respectivamente o número de amostras relacionadas a exposição em estudo e o fator de multiplicação que foi descrito anteriormente.

Após obter o valor da exposição parcial o próximo passo é obter o valor da dose de vibração de exposição que corresponde ao valor representativo da exposição ocupacional diária que pode ser expressa pela expressão que a diante

$$VDVexp_j = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^m (VDVexp_{ji})^4} \quad (2.11)$$

onde, $VDVexp_{ji}$ equivale ao valor da dose de vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária que deve ser obtida nos três eixos, relativas a componente de exposição " i " e é expressa em termos de $m/s^{1.75}$.

Após a realização de todos os passos anteriores a próximo e ultimo passo é a obtenção do valor da dose de vibração resultante representando a exposição diária, considerando a resultante dos três eixos da medição, que é expressa pela seguinte relação matemática

$$VDVR = \sqrt[4]{\sum_j (VDVexp_j)^4} \quad (2.12)$$

Como posse desses dois parâmetros básicos pode ser feita uma avaliação do quão prejudicial a exposição pode estar sendo para a saúde do trabalhador, mas antes de entrar no mérito da avaliação dos valores dos parâmetros básico é importante destacar alguns termos técnicos utilizados nessa norma que irão proporcionar uma compreensão melhor da avaliação da exposição de vibração de corpo inteiro.

- Limites de exposição (LE) ocupacional é o parâmetro que demonstra condições sob as quais se acredita que a maioria dos trabalhadores pode ser exposto sem sofrer efeitos adversos que possam provocar danos à saúde.
- Nível de ação representa o valor acima do qual devem ser tomadas ações preventivas de forma a minimizar a exposição à vibração e evitar que o limite de exposição seja alcançado.
- Ponto de medição são os pontos localizados na zona de exposição, cujos valores obtidos sejam representativos da exposição da região do corpo atingida.

A figura abaixo traz algumas instruções que devem ser tomadas na avaliação, onde pode constatar que os parâmetros utilizados para avaliar quais as medidas que devem ser tomadas dependem da aceleração resultante normalizada (*aren*) e o valor da dose de vibração resultante (VDVR), com posse desses dados o empregador pode compreender o quão prejudicial está sendo a exposição à vibração de corpo inteiro para o seu funcionário e tem umas instruções de algumas medidas cabíveis quando estiver diante de situações em que a exposição torna-se um risco para a saúde do trabalhador, tais valores e instruções estão presentes na figura 2.3

<i>aren</i> (m/s^2)	VDVR ($m/s^{1,75}$)	Consideração <i>técnica</i>	Atuação recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
> 0,5 a < 0,9	> 9,1 a < 16,4	acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária.
acima de 1,1	acima de 21	acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

Figura 2.3. Parâmetros básicos para avaliação. Fonte: [21].

ISO 2631-1 - Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration . Part 1: General requirements

Essa é a norma internacional para o assunto vinculados à vibração, esta é a mais utilizada ao redor do mundo e dela vários países se basearam para realizar suas próprias normativas, como ocorreu no Brasil. São apresentados nesta norma definições, medidas e métodos de avaliação de vibração e efeitos da vibração na saúde do trabalhador.

Em aspectos gerais a norma diz que a faixa de frequência que pode ser prejudicial ao corpo humano varia de 1 a 80 Hz e esta tem o objetivo de preservar o conforto, a eficiência, a saúde e a segurança do trabalhador. A aceleração deve ser medida em m/s^2 e os limites que são distintos para cada um dos três eixos ortogonais. Por último vale ressaltar que a região de maior sensibilidade para o eixo X e Y é entre 1 a 2 Hz e para Z é de 4 a 8 Hz [23].

Diretiva Européia 2002/44/EC

Esta é a norma europeia relativa às prescrições mínimas de segurança e saúde relativos à exposição dos trabalhadores aos riscos devidos aos agentes físicos (vibrações). Foi criada pelo Parlamento Europeu e pela União Europeia. Essa medida tem como objetivo estabelecer prescrições mínimas em matéria de proteção dos trabalhadores contra os riscos para a sua segurança e saúde resultantes ou suscetíveis ao resultado da exposição a vibrações mecânicas. As prescrições da presente diretiva aplicam-se às atividades nas quais os trabalhadores estão ou podem estar expostos, durante o trabalho, a riscos devidos a vibrações mecânicas [24].

2.3 Sistemas de medição de vibração

Inicialmente foi feita uma análise em todos os equipamentos disponíveis no mercado para medição de sistemas de vibração e quais eram seus principais componentes. Um dos equipamentos que teve maior destaque foi o HVM100 [25], devido sua grande utilização no mercado e sua facilidade de manuseio. Analisando o manual de usuário de alguns sistemas para medir vibração constatou-se a presença de alguns componentes essenciais para o seu funcionamento básico, tais como sensores de aceleração, sensores de pressão e muitos outros sensores. Estes equipamentos possuem uma vasta gama de sensores, mas esses, ditos anteriormente, são os que compõem a estrutura básica de um sistema para aquisição de sinais relacionados à vibração.

Literalmente, pode-se definir o termo sensor como "aquilo que sente" [26]. Em eletrônica, sensor é qualquer tipo de dispositivo ou circuito eletrônico que possibilita a análise de uma determinada situação do meio ambiente, como por exemplo, temperatura, luminosidade, vibração ou até mesmo a umidade relativa do ar. Os sensores podem ser entendidos como um tipo de transdutor, este é um dispositivo que tem como característica transformar determinado tipo de energia em outra. Um exemplo prático do transdutor pode ser visto no funcionamento dos motores dos automóveis, onde tem-se como entrada a energia química proveniente dos combustíveis e tem a transformação em energia mecânica para existir o deslocamento do veículo. Entretanto, o sensor é uma particularidade do transdutor, vista que o sensor recebe qualquer tipo de energia (luz, temperatura, vibração) mas transforma sempre em energia elétrica, necessária para a interpretações das condições ou características do ambiente, onde o sensor está fixado [26].

Diante da importância e da forte presença dos sensores em sistemas de vibração, foi escolhido alguns sensores para ter uma explicação mais detalhada para uma melhor compreensão

do funcionamento dos sistemas de medição de vibração, os sensores que vão ter uma análise um pouco mais detalhada pode ser visto no decorrer dos próximos seções.

2.3.1 Acelerômetros

Acelerômetros são componentes eletrônicos com a função de medir o valor da aceleração sofrida por determinado objeto. Existem diversas aplicações dos acelerômetros, mas uma tem um destaque maior devido ao fator de segurança encontrado nos acelerômetros inseridos no circuito de air-bag dos veículos. Quando um veículo sofre uma desaceleração abrupta, caracterizando um acidente, é então acionado um circuito destinado a disparar as bolsas de ar do air-bag, esse rápido acionamento e proteção dos ocupantes do veículo só é possível devido à aquisição dos valores de aceleração pelo acelerômetro, durante todo o trajeto do veículo.

Existe uma vasta gama de acelerômetros, cada um possui sua característica própria, seus pontos positivos e negativos. Dos acelerômetros mecânicos, dentre eles os mais comuns são os capacitivos, os piezoelétricos e os piezoresistivos. Na sequência vai ser explanado as características dos principais tipos de acelerômetros, o que vai dizer qual é o mais adequado vai ser as especificidades de cada projeto, por isso não tem como dizer que um é melhor em detrimento do outro.

- **Acelerômetros capacitivos**

Um capacitor simples é composto por duas placas metálicas afastadas por uma distância pequena. Entre essas placas está o ar ou algum tipo de material isolante apropriado. Inserindo cargas elétricas de sinais opostos nessas placas, após a inserção dessas cargas surge uma diferença de potencial elétrico entre as placas. Se as cargas nas placas permanecerem constantes, a voltagem nos terminais de saída vai alterar, de acordo com a variação da distância entre as placas. Quanto mais próximo estiver as placas, menores serão os valores de voltagem nos terminais. Esse conceito pode ser utilizado como base para criação de um acelerômetro, basta criar um determinado capacitor em que a distância entre as placas dependa do valor de aceleração sentido pelo conjunto

A figura 2.4 mostra o esquemático de um acelerômetro capacitivo, em que o valor da tensão nos terminais varia de acordo com a distância entre as placas. Enquanto o conjunto está em repouso, a mola segura a placa superior e gera uma voltagem de saída V_2 . Mas, se o conjunto sofre uma aceleração, a mola é pressionada (comprimida) e as placas do capacitor se aproximam uma da outra, fornecendo uma voltagem V_1 menos que a voltagem V_2 .

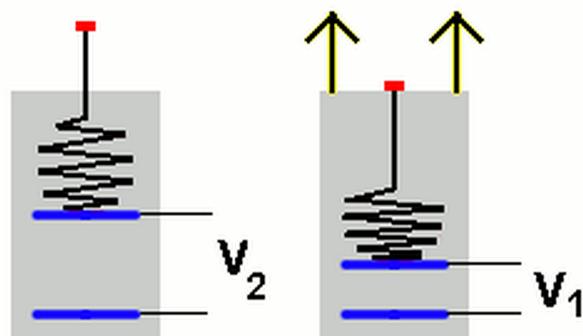


Figura 2.4. Esquemático de um acelerômetro capacitivo. Fonte: [27].

- **Acelerômetros Piezoelétricos**

Um material piezoelétrico possui uma características muito interessante, quando comprimidos, geram uma voltagem elétrica. Quanto maior for essa compressão maior vai ser a voltagem elétrica de saída. Essa característica pode ser utilizada para mensurar valores de aceleração.

A figura 2.5 mostra um esquemático que sintetiza o funcionamento desse tipo de acelerômetro. Um bloco metálico contém uma massa, também de natureza metálica, colocado uma uma camada de material piezoelétrico, que está anexado ao fundo do bloco. Se o bloco estiver em repouso a camada de material piezoelétrico sofre uma determinada compressão que fornece uma determinada voltagem elétrica de saída.

Se o bloco sofre uma aceleração para cima, a massa metálica pressiona a camada do material piezoelétrico e, como consequência, ocorre um aumento da voltagem elétrica da saída, e no caso, quando for acelerada para baixo a camada de material piezoelétrico vai sofrer uma compressão menor e, conseqüentemente, o valor da voltagem elétrica da saída vai ser menor.

- **Acelerômetro Piezoresistivo**

Este tipo de acelerômetro é bem parecido com o acelerômetro piezoelétrico, mas no local do material piezoelétrico existe um material piezoresistivo. A força exercida pelo bloco de massa faz alterar os valores da resistência, que é captada por uma simples ponte de Wheatstone. Esses tipos de acelerômetros conseguem medir valores de acelerações até os 0 Hz [28].

O funcionamento do acelerômetro é baseado em um sistema massa e mola que segue duas grandes leis da física básica, a primeira é a lei de Hooke a qual afirma que o deslocamento

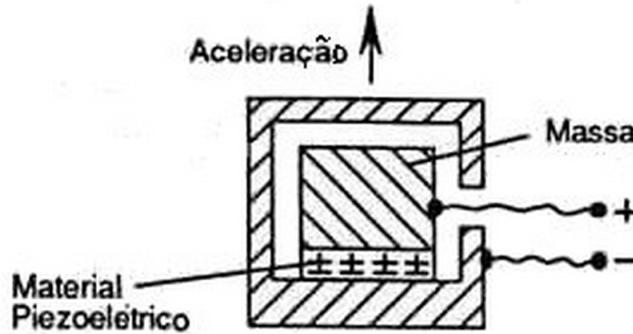


Figura 2.5. Esquemático de um acelerômetro Piezoelétrico. Fonte: [27].

da mola é diretamente proporcional a força aplicada, e a segunda é a lei de Newton que afirma que a aceleração de um objeto é diretamente proporcional a força aplicada. A relação matemática entre essas duas leis pode ser visto na figura 2.6.

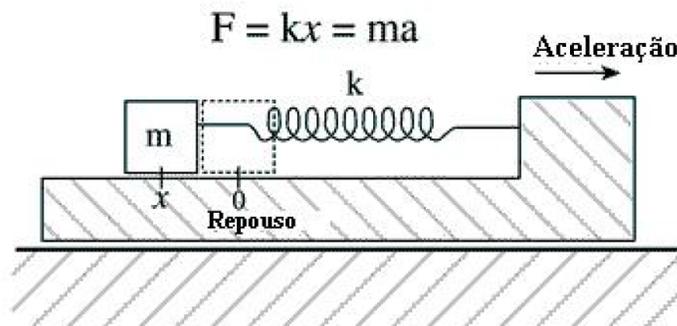


Figura 2.6. Exemplo de estrutura básica de acelerômetro com um sistema massa-mola. Fonte: [29].

A aceleração é obtida quando acontece a pressão ou compressão do local ou do segmento onde está fixado o sensor. A resistência ao movimento é detectada e transformada em sinais elétricos. Estes sinais são medidos por circuitos externos que medem impulsos elétricos. Os acelerômetros podem coletar, além dos sinais de acelerações dinâmicas, sinais de rotação, sinais de colisão, vibração e gravidade [29].

Alguns acelerômetros utilizados para a medição de vibração são os da linha ADXL destacando-se os modelos ADXL 335 e ADXL 345. Esses acelerômetros, ambos são tri-axiais, possuem um design compacto e possuem um consumo consideravelmente baixo de energia, essa é uma característica importante para projetos que precisam atuar com fontes de alimentação externa, esse baixo consumo viabiliza um maior tempo de utilização do sistema de medição de vibração.

2.3.2 Sensores de pressão

Sensores de pressão vêm sendo utilizados em inúmeras aplicações nos campos da saúde. Muitas soluções usando sensores de pressão ajudaram na análise de marcha, posicionamento de paciente para evitar úlceras, análise da distribuição da pressão no encaixe entre próteses e o corpo, sistemas de reabilitação entre tantas outras [30].

Com relação a marcha citada anteriormente, o controle das pressões plantares pode ser utilizado para monitorar a evolução de tratamentos e determinar a sua eficácia, sejam com órteses, fisioterapia, cirurgia, etc [31]. Outra utilidade seria a previsão de anormalidades de postura e de pisadas. Essas aplicações citadas anteriormente exigem muitos pontos de monitoramento, em que seria utilizado FSR.

O FSR (force sensitive resistor) consiste de um dispositivo resistivo em que o valor da resistência varia de acordo com a força aplicada sobre a superfície. A saída do FSR depende da área de sua superfície em que a força está sendo aplicada, seria mais adequado chamá-lo de sensor de pressão. Quanto maior a pressão é aplicada, menor a resistência entre os terminais do sensor de pressão [31].

Esses sensores são constituídos por uma película de polímero condutivo e eletrodos, onde esses dois componentes são separados por um espaçador. A figura 2.7 mostra um esquemático de um sensor FSR.

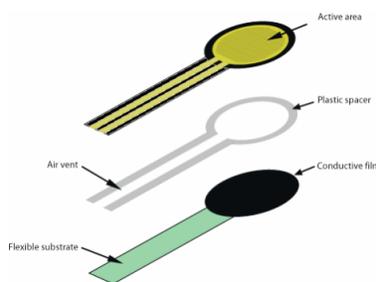


Figura 2.7. Esquemático da estrutura de um sensor FSR. Fonte: [31].

Caso nenhuma força seja aplicada sobre o sensor FSR, este vai trabalhar como se fosse um circuito aberto, e vai ter uma resistência de saída equivalente a 10 Mohms. Quando a superfície do sensor for pressionada e os eletrodos da área ativa entrarem em contato com o material condutivo, então a resistência entre os dois terminais adquire valores menores até o ponto em que, mesmo aumentando o valor da pressão aplicada, a resistência diminui ou diminui muito pouco, esses fatos revelam que o FSR entrou na região de saturação [30], a resposta apresentada por esse sensor é de aproximadamente $1/R$. O início da gama dinâmica, é obtido pelo substrato, pela espessura e pela flexibilidade do revestimento, tamanho e força

do atuador e pelo separador(espaçador). A figura 2.8 demonstra o comportamento típico de um sensor FSR e pode-se verificar algumas regiões citadas anteriormente.

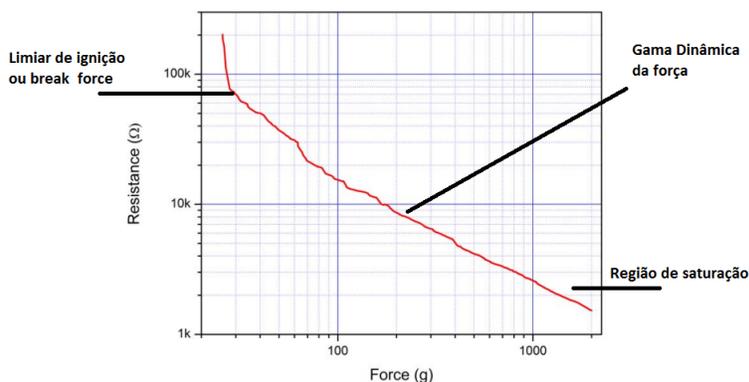


Figura 2.8. Esquemático do comportamento típico de um sensor FSR. Fonte: [30].

A partir de uma análise do gráfico acima pode-se verificar que o sensor FSR ganha certa linearidade a partir de 50g. Após passar 5000g, o sensor entra em uma região de saturação e mesmo aplicando grandes quantidades de força o valor da resistência vai alterar de uma forma muito lenta.

A figura 2.9 demonstra uma curva padrão de repetibilidade. Esta faixa de erro auxilia na determinação da máxima precisão de qualquer medida de força. A largura da faixa está ligada essencialmente a capacidade de repetição de qualquer sistema de medição. Geralmente a tolerância de repetibilidade durante intervalos de produção é de aproximadamente 15 ou 25 por cento da resistência nominal estabelecida [30].

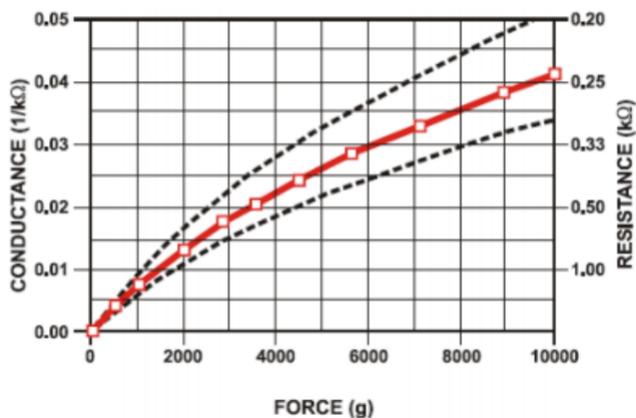


Figura 2.9. Curva de repetibilidade de um sensor FSR. Fonte: [30].

A figura 2.10 abaixo apresenta algumas das principais características encontradas nos

sensores FSR, tal imagem vai auxiliar na confirmação se esses é o melhor sensor de pressão para ser adicionado no projeto.

Parâmetro	Valor	Notas
Faixa de sensibilidade da força	<100 g até >10 kg	Depende da mecânica
Faixa de sensibilidade da pressão	<1,5 psi psi >150 <0,1 kg/cm ² até >10 kg/cm ²	Depende da mecânica
Parte-a-parte repetibilidade da força	± 2% a ±5% da resistência nominal estabelecida	Com um sistema de acionamento repetível
Parte individual da repetibilidade da força	± 2% a ±5% da resistência nominal estabelecida	Com um sistema de acionamento repetível
Resolução da força	melhor que 0,5 %	
Resistência sem aplicar força	>1MΩ	Descarregado
Faixa de temperatura	(- 30 °C a + 70 °C)	
Corrente máxima	1 mA/cm ² da força aplicada	
Tempo de vida	>10 milhões de atuações	
Tempo de subida	1 – 2 microssegundos	

Figura 2.10. Características do sensor FSR. Fonte: [32].

O FSR é um excelente sensor, mas ele apresenta algumas limitações que podem ser prejudiciais em alguns projetos, um exemplo simples é a sua baixa precisão na coleta das medidas e ele também não é muito recomendado para valores de força acima de 10Kg.

2.3.3 Sistema de Posicionamento Global - GPS

O Sistema de Posicionamento Global consiste de um sistema de navegação por satélite desenvolvido e operado pelo Departamento de defesa dos Estados Unidos da América(EUA) que permite a usuários em terra, mar ou no ar determinar a sua posição em uma escala tridimensional, sua velocidade de deslocamento e o horário, tais dados podem ser acessados 24 horas por dia, em qualquer lugar do mundo, com uma precisão e exatidão superiores a qualquer sistema de radionavegação atualmente disponível [33]. Os principais objetivos quando os americanos criaram o GPS foi a determinação da posição exata de aeronaves e navios a qualquer momento, direcionamento de mísseis balísticos, localização em tempo real de tropas militares em movimento. O GPS teve sua principal finalidade para fins militares mas o GPS também foi desenvolvido para fins civil, porém com uma menor precisão e exatidão. Esse sistema pode ser dividido em 3 segmentos distintos : O segmento Espacial, O Segmento de controle e o Segmento de Usuários.

1. Segmento de Espacial

Esse segmento é constituído por no mínimo 24 satélites operacionais que trabalham em 6 órbitas circulares a uma distância de 20200 Km acima da Terra em um ângulo

de aproximadamente 55° graus com um período de 11 horas e 58 minutos . Os satélites de GPS transmitem constantemente mensagens com informações de tempo(devido aos seus relógios atômicos), informações sobre estado(condições de funcionamento) do respectivo satélite, dados da órbita e muitas outras informações. Todos esses satélites transmitem as informações na mesma frequência sendo eles distinguíveis devido a utilização de técnicas de multiplexação por código(CDMA- *Code Division Multiple Access*)

2. Segmento de Controle

Consiste de um ponto de controle mestre que está situado em Colorado Springs - EUA, com mais cinco estações monitoramento e três antenas distribuídas por todo o globo terrestre. As estações de monitoramento rastreiam os satélites coletando sinais que são transmitidos para a estação de controle central que os utiliza para calcular com muita precisão as órbitas do satélites, esses dados são transmitidos para os satélites atualizando a mensagem que cada satélite transmite. A estação de controle central também auxilia no ajuste do relógio dos satélites em relação a UTC e informações de saúde(estado).

3. Segmento de Usuário

O segmento dos usuários consiste de receptores(antenas e processadores) que usam dos dados enviados pelos satélites para obter a sua posição, deslocamento,tempo e muitos outros [33]. Nesses que se encontram os dispositivos, que recebem os sinais do satélite, os dados adquiridos por esses receptores são enviados geralmente no formato NMEA 0183(*National Marine ELectronics Association*). De modo geral o formato NMEA vem com algumas especificações, que auxiliam nas leituras dos dados recebidos pelo receptor de sinal GPS, eles fornecem alguns caracteres, que ajudam a localizar os pontos no mapa, tais como, latitude longitude e outras informações como pode ser visto na figura 2.11.

Na figura 2.12 mostra um esquemático onde pode-se constatar a interação entre os três segmentos do GPS de segmento espacial, segmento de controle e segmento de usuário.

Após muitas pesquisas dos GPS disponíveis no mercado, optou-se por uma *shield* do arduino com módulo GPS embutido e com um conector de antena para facilitar a coleta dos sinais da posição. A *shield* escolhida para o projeto pode ser vista na figura 2.13 um ponto de destaque dessa *shield* é a presença do slot de SD isso é importante caso exista falhas no adaptador SD pode-se utilizar o SD direto na *shield* do GPS e fazer a gravação dos dados de uma forma mais compacta e simples.

Exemplo – Sentença GLL(*Geographic Latitude and Longitude*)
 \$GPGLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A,*1D

“\$” : Início da sentença.
 “GP” : Fonte de sentença (receptor GPS).
 “GLL” : Identificação da sentença.
 “4916.45” : Latitude em graus (49) e minutos (16.45).
 “N” : Latitude referente ao hemisfério norte .
 “12311.12” : Longitude em graus (123) e minutos (11.12).
 “W” : Longitude situada a oeste de Greenwich.
 “225444” : Horário em que a posição foi obtida (22h54m44s - UTC).
 “A” : Indica validade da posição (A → válido, V → inválido).
 “*” : Indica o último campo.
 “1D” : Soma de verificação (*Checksum*).

Figura 2.11. Símbolos padrões utilizados no formato NMEA. Fonte: [33]

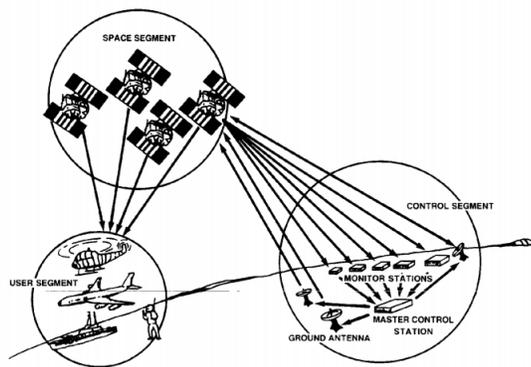


Figura 2.12. Segmentos do GPS. Fonte: [34].

2.3.4 Plataformas de desenvolvimento e processamento

1. Arduino

Os microcontroladores são pequenos computadores com funções definidas, apresentam um baixo custo financeiro e de consumo de energia e além disso, dentro desses microcontroladores possuem muitos componentes eletrônicos que são vitais para um funcionamento autônomo do dispositivo microcontrolador. Este pode atuar em diversas funções que necessitariam de enorme número de componentes, logo saber operar e programar esses microcontroladores de certa forma significa poder resumir circuitos em um único componente eletrônico que controla todos os periféricos do sistema. Atualmente diversos segmentos das indústrias utilizam esses dispositivos, tais como, indústria automobilística, de telecomunicações, de eletrodomésticos, de eletroeletrônicos, bélica e entre outras [36].

A autonomia citada anteriormente deve-se a possibilidade que os microcontroladores tem de possuírem no mesmo encapsulamento diversos dispositivos de suma importância para o desenvolvimento das funções do microcontrolador. O microprocessador tem

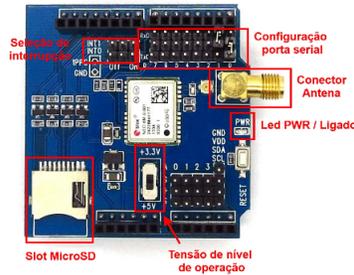


Figura 2.13. *Shield* do GPS para Arduino. Fonte: [35].

como função interpretar as instruções passadas pelos programas e processar os respectivos dados. Os valores das memórias dos microprocessadores está cada dia maior, isso representa um avanço pois possibilita mais agilidade no desempenho de suas funções mais complexas. Uma série de pinos de entrada e saída, essa quantidade de pinos depende de modelo para modelo, que executa a comunicação entre o microprocessador e as condições do ambiente que são adquiridas a partir de sensores. Além disso, inúmeros periféricos que tornam o hardware mais complexo como controladores de interrupção, comunicação serial, geradores de modulação por largura de pulso (*Pulse Width Modulation (PWM)*), conversores analógico/digital, temporizadores e muitos outros periféricos que tornam o hardware um circuito mais completo e complexo [37].

Atualmente existe uma vasta gama de microcontroladores o que os diferencia é a presença de alguns componentes mais específicos e com algumas características que os tornam ideais para determinados projeto, as características que os diferenciam são velocidade de processamento, valores de memória, quantidade de pinos de entrada e saída analógica/digital, forma de alimentação, os tipos e quantidades de periféricos disponíveis e arquitetura.

O Arduino é uma plataforma de código aberto amplamente utilizado para desenvolvimento de projetos na área de eletrônica e suas correlatas. O Arduino teve sua origem na cidade de Ivrea, na Itália, em meados de 2005. O professor Massimo Banzi tinha como intuito criar um dispositivo que tivesse um baixo custo e que possibilitasse uma interação entre os estudantes de design com a tecnologia de microcontroladores. Então, o professor junto com o pesquisador David Cuartielles criaram a plataforma Arduino, este nome deve-se a um bar local bastante frequentado por membros do corpo docente e alunos do Instituto de Ivrea. A popularidade do Arduino cresceu, quando o grande público percebeu que o Arduino seria um sistema de fácil trato, de baixo custo e que poderia proporcionar a realização de grandes projetos, bem como era uma excelente

forma de interação com a programação de microcontroladores [38]. Por ser uma plataforma aberta para grande comunidade de desenvolvedores do mundo inteiro, que publicam as bibliotecas que desenvolveram já com as funções específicas e prontas. O Arduino é simplesmente uma placa de circuito físico programável, por isso é chamado de microcontrolador, o *Integrated Development Environment(IDE)* é o *software* utilizado para passar as instruções para a placa do Arduino, a linguagem de programação utilizada para fazer a comunicação com o Arduino no C++.

Há diversos modelos de Arduino para muitas aplicações. Por exemplo, o Arduino Uno pode ser utilizado em projetos que necessitem de uma placa de tamanho compacto e que não precise de um número excessivo de portas. Ele possui um Microcontrolador ATmega328 com 14 portas digitais e 6 portas analógicas, uma memória flash de 32kB, uma SRAM de 2kB, uma EEPROM de 1kB e uma velocidade de clock de 16MHz, veja a figura 2.14 para observar como essa placa é compacta. Outro modelo de placa de Arduino que é largamente utilizada é o Arduino Mega que é utilizado para projetos que necessitam de um grande número de portas e processamento, possui um microcontrolador ATmega 2560, como pode ser visto na figura 2.14. O Arduino Leonardo tem uma característica distinta das outras placas citadas anteriormente porque possui um microcontrolador ATmega32u4 que possui uma comunicação USB embutida, eliminando assim a necessidade de um segundo processador. Isto possibilita ao Leonardo aparecer como um computador conectado com um mouse ou um teclado, além de possuir uma porta COM virtual (CDC) serial, veja a figura 2.14. Por fim, outra placa bastante utilizada é o Nano, excelente para projetos em que o tamanho dos componentes é um fator importante, veja figura 2.14. Logo não, pode-se afirmar que um Arduino é melhor que o outro, visto que cada um tem uma característica, então o que vai indicar qual é o melhor Arduino para o projeto são os requisitos necessário para desenvolver o projeto.

2. Raspberry

Uma plataforma de processamento que vem sendo bastante difundida e utilizada para fins de aplicações acadêmicas e industriais é o Raspberry PI, que é um pequeno computador que tem a dimensão de um cartão de crédito e possui um custo de aquisição relativamente baixo, quando comparado a dispositivos que desempenham funções similares. A ideia principal dos criadores, quando eles desenvolveram essa plataforma, era a produção de um equipamento com preço acessível, dimensões reduzidas e com inúmeras funcionalidade de modo que fosse possível uma interação fácil e rápida entre hardware e software. O primeiro modelo da plataforma foi o Raspberry PI A que já

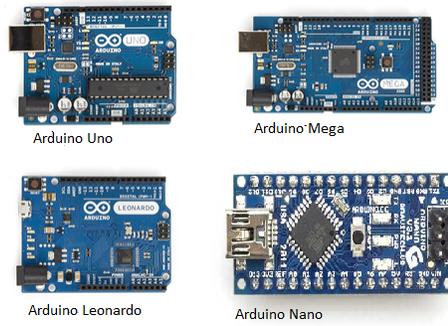


Figura 2.14. Arduino Uno, Mega, Leonardo e Nano. Fonte: [39].

tinha um grande quadro de funcionalidades, com o decorrer do tempo desenvolverem o modelo B, este modelo foi acrescido com uma memória de 512 MB, uma entrada USB e uma entrada RJ45, adicionando essas anteriormente citadas e mantendo todas as outras do modelo anterior. O diferencial do Raspberry PI reside no fato de que ele pode ser utilizado como um computador pessoal, existe modelos mais avançados do Raspberry PI que operam com os mais modernos e atualizados sistemas operacionais presentes no mercado, por isso, que essa plataforma não pode ser considerada apenas como um microcontrolador, pois ele opera com processamento de um sistema operacional que opera com ações de entrada, saída e armazenamento[40]. Esse fator difere essa plataforma dos microcontroladores que trabalham com ciclos de *clock* sem o controle interno de uma sistema operacional específico[41]. Na figura 2.15 pode ser visto os principais módulos que estão presentes no Raspberry PI B, logo na sequência da figura vai conter a explicação de cada elemento e suas principais finalidades.

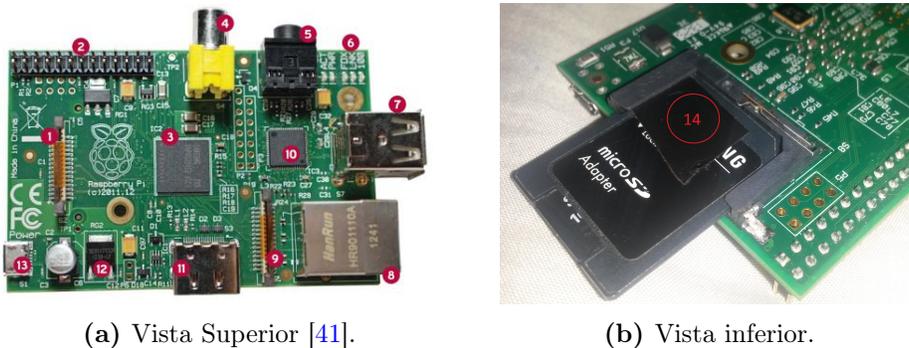


Figura 2.15. Raspberry PI B com enumeração dos principais módulos

1. DSI vídeo: Esse bloco possui uma saída de vídeo com uma interface serial, onde

é possível conectar nessa saída um monitor e visualizar as operações realizadas pela plataforma em um monitor.

2. **GPIOs *input/output***: O GPIO é basicamente um conjunto de pinos responsáveis pela comunicação das entradas e saídas digitais. Esse bloco é composto por 26 pinos no Raspberry PI B, em alguns modelos mais avançados o GPIO é composto por 40 pinos. Com esses pinos é possível fazer desde o acionamento de simples LEDs até controle de projetos avançados, esses pinos do GPIO são de fácil operação mas deve-se tomar cuidado com a faixa de tensão de operação, porque essa plataforma trabalha com tensões de 3.3V, logo se aplicar um tensão muito superior poderá danificar a mesma e no pior dos casos pode danificar toda a placa. Como a Raspberry PI B não tem sistema de proteção, deve-se tomar cuidado para que não aconteça um curto entre os pinos de GPIO, visto que os pinos estão bem próximo, na imagem a seguir pode-se observar a disposição dos pinos.



Figura 2.16. Esquemático da distribuição das portas digitais GPIO. Fonte: [41].

3. **CPU, GPU, RAM**: O Raspberry contém uma processador ARM11 e uma velocidade de processamento de 700 MHz. Nessa plataforma também está incluso um processador que decodifica e reproduz vídeos em até 1080p em alta definição e uma incrível memória RAM de 512 MB.
4. **RCA vídeo**: Saída analógica de vídeo.
5. **Audio**: Essa interface possibilita a criação de uma central multimídia, nessa saída pode-se efetuar a ligação de uma caixa de som.
6. **LEDs** : Esses grupo de LEDs informa os status de energia da plataforma.

7. **USB** : O Raspberry PI B possui duas portas USB que podem ser utilizadas para a conexão de dispositivos USB, os mais amplamente utilizados são o mouse e o teclado.
8. **RJ45- Ethernet**: Nessa interface é possível conectar o Raspberry PI B a um roteador, este possuindo sinal para acesso a internet a plataforma poderá ter acesso facilmente a internet. Esse bloco foi uma das mudanças presentes na depois do primeiro modelo.
9. **Entrada para Câmera**: Essa plataforma possui suporte para uma interface serial de câmera, nesse conector é possível adicionar uma *webcam* portátil, evidenciado assim o caráter de um computador pessoal.
10. **Controle USB e Internet**: Microchip responsável em executar funções de controle de acesso à web e as conexões das entradas USB.
11. **HDMI**: Com esse suporte é possível enviar imagens e vídeos em até 1080p de alta definição para monitor ou televisão HD.
12. **Regulador de tensão**: Devido as saídas de 3,3 volts dos pinos GPIO foi implementado o regulador de tensão, que reduz os 5 volts de entrada.
13. **Alimentação elétrica micro USB**: A placa deve ser alimentada por uma entrada de 5 volts(VDC) $\pm 5\%$ de tolerância. Para o modelo Raspberry PI B é exigido uma corrente de no mínimo 700 mA.
14. **Leitor SD**: Nessa interface é encontrado um dispositivo de armazenamento removível, cartão SD, pois o Raspberry PI não possui uma estrutura capaz de suportar uma capacidade de armazenamento permanente, esse bloco é semelhante aos *Hard Disk* dos computadores pessoais. É importante a escolha de um cartão SD de boa classificação, porque a velocidade da leitura e gravação será proporcional a qualidade desse cartão SD. A imagem do sistema operacional vai ser alocada nesse cartão SD.

Escolha da Distribuição para o Raspberry PI B

O Raspberry PI B utiliza o linux como sistema operacional. O linux é formalmente falando apenas o kernel, e um sistema operacional é muito mais do que isso [42]; o conjunto total de dispositivos, drivers e aplicações compõem o sistema operacional propriamente dito. Uma ampla gama de distribuições de Linux vem sendo desenvolvida ao longo dos anos, essa grande diversidade deve-se principalmente por se tratar

de um *Software open source*. As distribuições mais frequentemente utilizada em computadores são Ubuntu, Debian, Fedora, e Arch. Cada uma tem uma particularidade e sua comunidade específica de usuários e são modeladas para aplicações determinadas.

Raspbian é uma variante do Debian baseada no processadores da família ARM. O termo raspbian é uma combinação do nome **Raspberry** e **Debian**. Raspbian é um software livre que oferece inúmeros pacotes para serem instalados no computador Raspberry PI, é especialmente configurado para o desempenho otimizado no ARM11 do Raspberry PI. A distribuição Linux Raspbian possui pacote gráfico que possibilita uma melhor visualização de algumas operações, essa distribuição é uma distribuições mais utilizadas no Raspberry PI B.

2.4 Dispositivos utilizados

Após apresentar a embasamento teórico dos dispositivos que irão ser utilizados, nada melhor que resumir quais elementos serão utilizados para compor o sistema completo, para obter os valores de aceleração e de localização:

- Acelerômetro ADXL 3XX
- GPS *shield* Itread studio 1.1
- Arduino Mega
- Raspberry PI B

Esses foram os elementos utilizados para a formulação do projeto. Com todos os dispositivos especificados é possível obter os dados de aceleração e de localização geográfica em condutores de veículos e obter os valores de Dose durante as jornadas de trabalho.

3 Metodologia

3.1 Sistema Microcontrolado para aquisição e análise de dados de vibração com localização geográfica sincronizada

O procedimento inicial para começar o projeto foi primeiramente o levantamento bibliográfico com pesquisas em artigos internacionais e nacionais publicados em grandes centros de pesquisa com notório saber na área em questão, vibração de corpo inteiro [adicionar aqui referências]. Para o estudo da vibração foi necessário conhecer como surge a vibração e como isso influencia na saúde das pessoas que estão expostas à determinada vibração, sendo assim, foram feitas pesquisas sobre vibração de corpo inteiro e o quanto prejudicial é à saúde e como esse fator pode ser prejudicial ao cotidiano das pessoas. Nessas pesquisas constatou-se que era necessário pesquisar com mais afinco os parâmetros mais relevantes acerca da vibração de corpo inteiro, tais como, valor de dose de vibração e aceleração resultante normalizada, principalmente como esses parâmetros influenciavam na saúde das pessoas, que estavam submetidas às vibrações mecânicas.

Para capturar os dados relacionados à vibração foram feitas diversas pesquisas sobre sensores comerciais que poderiam ser utilizados no projeto, tais como sensores de pressão e os inúmeros acelerômetros (sensor de aceleração) disponíveis no mercado. O sensor de aceleração escolhido para compor o projeto foi o acelerômetro tri-axial (ADXL 3xx), ele é um modelo similar ao famoso ADXL 335, que é mundialmente utilizado devido à facilidade de manuseio e obtenção dos dados. Outro sensor de suma importância é o de localização, uma análise de mercado foi realizada e optou-se por escolher uma *shield* de GPS Itead studio V1.1 onde já possui um *slot* de cartão SD, onde já são gravados os dados de vibração dos eixos x, y e z e os respectivos dados de posição geográfica que vai possibilitar uma adequada análise posteriormente. Para completar foi realizada também uma pesquisa para a escolha do microcontrolador em que foi decidido o uso do Arduino Mega, o microcontrolador em questão pode ser alimentado por uma fonte de energia externa, bateria de 9V, conectado por um adaptador adequado. Para auxiliar as operações foi escolhido a Raspberry PI B para operar conjuntamente com o Arduino Mega, as tarefas de cada plataforma estão bem definidas onde o Arduino Mega fica responsável pela aquisição dos sinais relacionados à vibração e à localização, tais dados serão enviados para a plataforma do Raspberry, onde vai ser realizado as operações para cálculo dos valores de Dose. Tais tarefas foram assim dispostas devido

as características de cada microcontrolador, onde o Arduino Mega tem uma característica mais de instrumentação eletrônica e o Raspberry tem características de processamento de sinal devido suas especificações, as especificações de ambas plataformas podem ser vistas na tabela 3.2.

Tabela 3.1. Características técnicas do Arduino Mega e do Raspberry PI B

especificações técnicas	Arduino Mega	Raspberry PI B
Processador	ATmega2560	BCM2835(ARM)
Velocidade	16 MHz	700MHz
RAM	8KB	512MB
Portas analógicas	16	0
Digital GPIO	54	8
PWM	14	-
Tensão de operação	5 V	5V
Corrente máxima portas E/S	40 mA	700mA
Alimentação	7 - 12 Vdc	5Vdc

A implementação do circuito para aquisição de sinais de vibração foi desenvolvida inicialmente guiando o seguinte esquemático desenvolvido por um software conhecido como Fritzing®.

Posteriormente foi realizado pequenos testes em uma protoboard de 830 furos, nesses pequenos testes iniciais foram verificados o funcionamento adequado do microcontrolador, do acelerômetro, do cartão SD e do programa desenvolvido, inicialmente, para aquisição dos dados de vibração e posteriormente os sinais de localização. No código desenvolvido na IDE do Arduino consta um trecho para aquisição dos dados analógicos advindos das eixos x,y e z do acelerômetro, gravação e leitura no cartão SD e, posteriormente, foi adicionado o código para a sincronização dos dados de vibração com a respectiva posição geográfica.

Após fazer os diversos testes para validar alguns trechos do circuito, a próxima etapa foi adicionar o sensor de GPS para fazer uma análise completa do circuito, tendo em vista que os sensores de aceleração e o sensor de localização são as entradas primordiais do circuito. Após a aquisição dos valores finais do circuito constatou-se que o pleno funcionamento dos trechos e a próxima tarefa foi analisar esses dados obtidos em um software adequado, o escolhido foi o MatLab®, utilizando o software mencionado anteriormente foi realizado a plotagem dos sinais adquiridos.

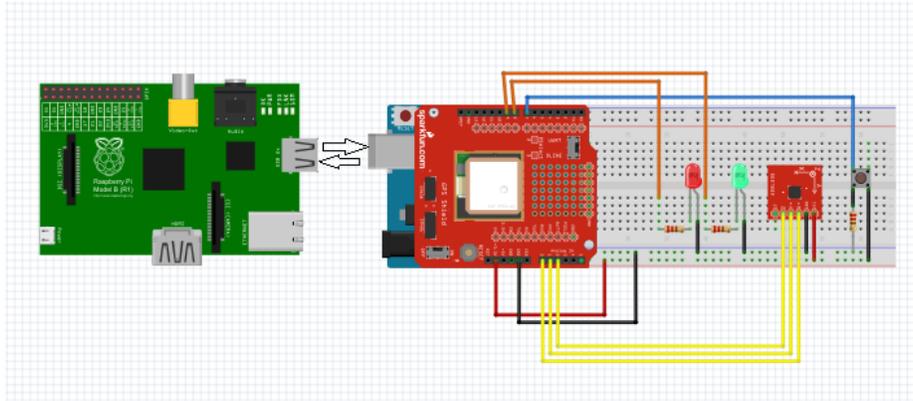


Figura 3.1. Modelo do circuito inicial.

O circuito descrito na figura 3.1 tem o seu funcionamento resumido da seguinte forma, quando o usuário pressiona o *push button* inicia o processo para gravação, que é indicado a partir do auxílio dos LEDs, onde o LED vermelho indica que está ocorrendo a gravação no exato momento e o LED verde indica que a gravação já foi finalizada e está pronto para iniciar outra aquisição e, posteriormente, a gravação.

O diagrama de blocos da figura 3.2 representa de forma esquemática os principais blocos presentes no circuito desenvolvido, esses blocos representam as principais funções do circuito como um todo, onde encontra-se os blocos que representam as entradas do circuito que é o acelerômetro e o GPS, módulo de gravação em cartão SD, módulo de visualização e interação com usuário que será desenvolvido em um display apropriado, comunicação com o PC e a parte central do circuito que consiste na comunicação entre o Arduino Mega e o Raspberry PI B, esse fluxo representa de forma fiel o protótipo elaborado para adquirir dados relacionados à vibração.

Após conhecer sobre o modo de aquisição o próximo passo é compreender os principais parâmetros utilizados nos estudos sobre vibrações mecânicas, o parâmetro valor de dose de vibração. Este por sua vez quantifica a dose em que a pessoas está submetida durante determinado período, no código foi implementado um algoritmo que é capaz de quantificar esse valor de dose, essa dose é calculada a partir dos dados de aceleração transferidos pelas saídas analógicas do acelerômetro adotado.

A forma que o programa calcula esse valor da dose resultante é a partir de algumas instruções, tais como, pequenas somas dos valores das exposições parciais considerando todos os três eixo ortogonais x , y e z , após obter esse Valor da dose resultante pode-se realizar a análise dos efeitos da vibração sobre a saúde humana.

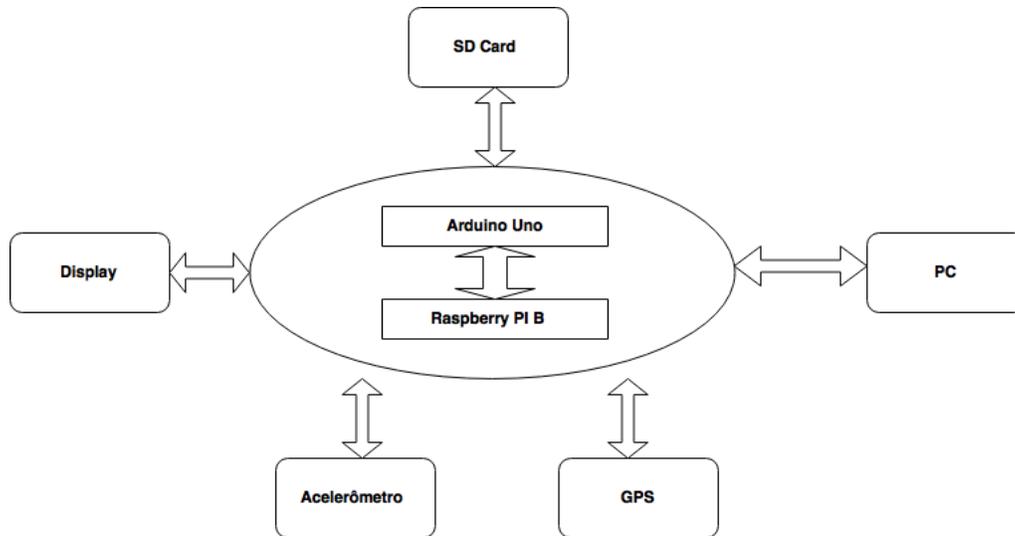


Figura 3.2. Diagrama de Blocos do circuito desenvolvido.

Procedimentos para Cálculo do Valor de Dose

A Norma de Higiene Ocupacional 09[21] estabelece de forma detalhada todos os procedimentos necessários para se obter o Valor da Dose de Vibração de corpo inteiro em que o trabalhador está sujeito durante uma jornada de trabalho, o primeiro passo seria obter o valor da aceleração média instantânea para os 3 eixos ortogonais, para isso é necessário primeiro obter o valor da aceleração proveniente do acelerômetro ADXL 3XX e posteriormente fazer uma ponderação em frequência dos valores obtidos pelo acelerômetros. A norma traz em seu texto essas curvas que representam as ponderações de acordo com o valor da frequência, pensando nisso foi projetado filtro que se comportasse de modo semelhante ao filtro que está disposto nas normas, o filtro projetado é usando uma técnica de FIR (Resposta Impulsional Finita). Para projetar os filtros foram utilizadas técnicas eficientes de interpolação dos dados, os dados interpolados foram advindos da ISO 2631[23] onde consta uma tabela com os valores discretizados de alguns pontos curva para todos os eixos ortogonais.

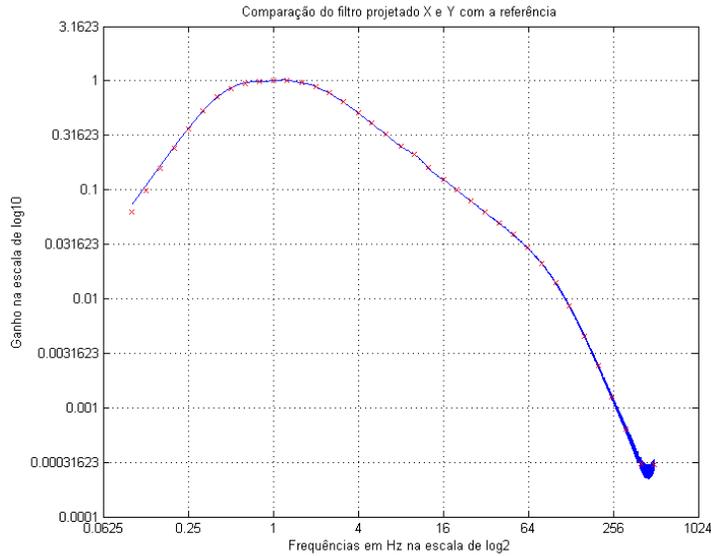
Para obter um filtro que tenha uma resposta em frequência de acordo com a norma é necessário aplicar técnicas de filtragem um pouco distintas, visto que o filtro a ser criado tem ganhos específicos em cada valor de frequência. Tal particularidade desses filtros tornam seu projeto verdadeiros desafios, então para modelar a função que melhor responde as ponderações em frequência é necessário a determinação de coeficientes da função de transferência que modelam a resposta desejada. Esses coeficientes podem ser determinados quando é injetado diversas entradas no modelador da função e avaliado as respostas a essas entradas, as entradas citadas anteriormente são senoides com diferentes valores de frequência e amplitude, para

cada valor de entrada com sua respectiva frequência obtêm-se uma saída em que é avaliado a variação da amplitude e o atraso, após efetuar muitas análises dos valores de entrada e saída é possível obter um sistema linear que descreve o funcionamento do filtro para as entradas inseridas, a solução desse sistema linear são os coeficientes da função de transferência para o filtro a ser criado, após obter esses coeficientes é possível completar a função de transferência do sistema e avaliar a ponderação do filtro para cada valor de frequência especificado. A interpolação dos dados e a otimização numérica citada anteriormente foram desenvolvidas no *software* Matlab[®], este foi utilizado porque o sistema linear necessário para descrever as ponderações do filtro possuem muitas equações, cada equação representada no sistema linear depende de uma única frequência de teste, como foram analisada muitas senoides de diferentes frequências logo foi obtido um sistema linear consideravelmente grande, para obter uma resposta em frequência adequada, o resultado encontrado para o filtro com as especificações da norma pode ser visto na figura 3.3.

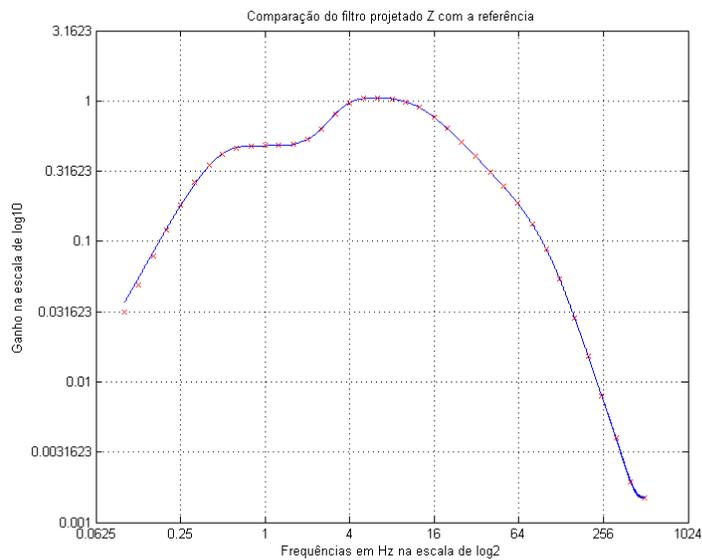
Observe que na figura 3.3 há um conjunto de cruces vermelhas, esses elementos representam os dados provenientes da tabela presente na ISO 2631, enquanto a curva representa a função que melhor aproxima esse conjunto de pontos. A NHO 09 é uma tradução da ISO 2631 para as situações e contextos dos trabalhadores brasileiros, ela também apresenta essa curva de ponderação[21] e a curva interpolada assemelha-se a curva disponível nessa norma e disponível na figura 2.2. Então após obter esses filtros de ponderações o próximo passo foi fazer as ponderações das acelerações obtidas pelo acelerômetros e depois seguir os passos dispostos na normas e obter o Valor da Dose de vibração e verificar se o trabalhador encontra-se em situação de risco durante sua jornada de trabalho.

Mapeamento usando GPS

A partir de uma análise de vários materiais relacionados ao GPS e ao padrão NMEA, constatou-se que se pode adicionar o valor da dose de vibração no arquivo que é gerado a partir da *shields* de GPS. Esses formato NMEA é desenvolvido por sentenças que se repetem periodicamente de acordo com a frequência de aquisição, onde a cada novo ciclo ele atualiza com os novos dados de posição geográfica. Uma das sentenças traz a informação relativa a altura, então, a ideia é adicionar ao invés de altura seria adicionar o valor da dose calculada a cada ciclo, para poder fornecer um *feedback* da rota completa, avaliando assim as condições e os valores de dose a cada trecho da rota. O módulo de visualização gráfica poderá ser o Google Earth que possibilita a importação do pacote de texto no formato NMEA. Na tabela abaixo está disposta um exemplo de uma sentença NMEA onde pode ser visualizado cada componente da seguinte sentença de um arquivo NMEA qualquer.



(a) Filtro de ponderação em frequência para eixo X e Y .



(b) Filtro de ponderação em frequência para eixo Z

Figura 3.3. Filtros projetados e os valores disponíveis na ISO 2631.

- Exemplo : \$GPGGA,170834,4124.8963,N,08151.6838,W,1,05,1.5,**280.2**,M,-34.0,M,,,*59

O arquivo de texto final produzido pela shield de GPS terá o formato NMEA onde o seu conteúdo será formado por uma cadeia de sentenças como a da descrita na tabela acima, o valor da dose de vibração será atualizado sempre no lugar da altura, sendo assim, a cada

Tabela 3.2. Explicações sobre componentes de uma sentença NMEA.

Nome	Exemplo de dados	Descrição
Tempo	170834	17:08:34 UTC
Latitude	4124.8963, N	41d 24'54"
Longitude	08151.6838, W	81d 51'41"
Fix Quality	1	Validação do GPS
Número de satélites	5	Nº de satélites no alcance
Precisão Horizontal	1.5	Relativo a posição horizontal
Altitude	280,2,M	280.2 m
Altura do geóide	-34,0,M	-34.0 metros
Última atualização do DGPS	em branco	Sem última atualização
Checksum	59	checar erros

novo ciclo de obtenção da sentença o valor da dose será adicionado ao arquivo de texto e posteriormente vai ser disposto em um *software* de de visualização geográfica. Um exemplo do arquivo de texto que vai ser obtido pode ser visto na figura 3.4.

```
$GPRMC,153329.798,V,3854.931,N,07302.498,W,26.3,3.71,071115,,E*49
$GPGLL,3854.931,N,07302.498,W,0.00,,M,M,,*52
$GPRMC,153332.798,V,3854.933,N,07302.499,W,44.4,3.63,071115,,E*40
$GPGLL,3854.933,N,07302.499,W,0.00,,M,M,,*52
$GPRMC,153335.798,V,3854.935,N,07302.499,W,5.9,3.85,071115,,E*71
$GPGLL,3854.935,N,07302.499,W,153337.798,V*30
$GPRMC,153338.798,V,3854.936,N,07302.500,W,93.9,3.81,071115,,E*45
$GPGLL,3854.936,N,07302.500,W,0.00,,M,M,,*5C
```

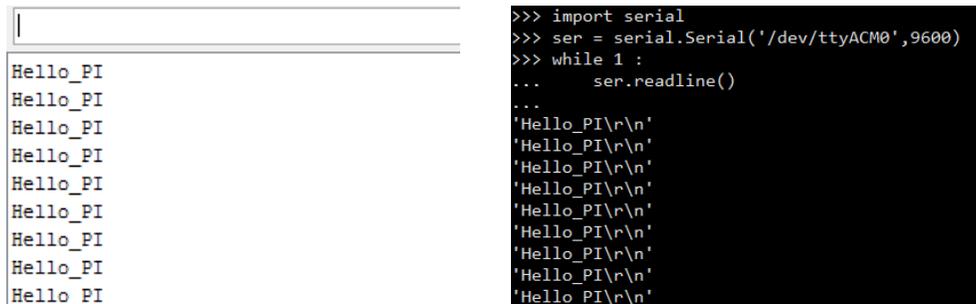
Figura 3.4. Exemplo de um trecho do arquivo com instruções NMEA gerado ao final da rota.

Comunicação entre Arduino e Raspberry

A comunicação serial entre o Arduino Mega e o Raspberry PI B tem como finalidade a interação dos dispositivos, no projeto em questão, o Arduino está responsável por receber os sinais provenientes do sensor de aceleração fazer a conversão analógica e enviar pro Raspberry, mas o Arduino também ficou a cargo de receber os valores de posição geográfica e

enviar para o Raspberry. Uma pergunta que surge é porque ao Arduino foi designado essas tarefas, estas funções foram passadas para o Arduino porque ele possui uma plataforma de instrumentação muito desenvolvida, com diversas *shields* disponíveis no mercado, o que torna a instrumentação com ele uma tarefa um pouco menos complexa. Agora o Raspberry por apresentar uma forte característica de processamento ele ficou responsável por processar os dados que serão enviados pelo Arduino Mega, então ele recebe os dados do Arduino pela serial e grava os dados de acelerações e posição no arquivo de texto, os dados serão enviados e gravados em blocos. Após a gravação do primeiro bloco o software octave[®] vai importar esses dados salvos e vai fazer a ponderação em frequência dos dados de aceleração. Essa ponderação em frequência e o rápido processamento exige muito da plataforma, por isso que a Raspberry ficou com essa função. Após efetuar as ponderações da aceleração é só implementar rotinas no octave[®] para efetuar os cálculos conforme a Norma de Higiene Ocupacional 09 [21] e obter os valores de Dose para os valores que o acelerômetro está captando.

Um pequeno teste para visualizar como é feita a comunicação entre o Arduino e o Raspberry PI B pode ser visto na figura 3.5, onde é possível observar que o Arduino manda uma pequena mensagem de 'Hello_PI' para o Raspberry via serial, logo o Raspberry mostra mensagem que ele está recebendo pela entrada serial da sua placa. Com esse pequeno teste evidencia-se que o procedimento de comunicação entre as duas placas não é uma tarefa árdua.



```
Hello_PI
Hello_PI
Hello_PI
Hello_PI
Hello_PI
Hello_PI
Hello_PI
Hello_PI
Hello_PI
```

```
>>> import serial
>>> ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0',9600)
>>> while 1 :
...     ser.readline()
...
'Hello_PI\r\n'
```

(a)

(b)

Figura 3.5. Comunicação simples entre Arduino Mega e Raspberry

3.2 Análise experimental do sistema desenvolvido para adquirir os dados relacionados a vibração e localização geográfica sincronizada

3.2.1 Procedimentos de comunicação entre as plataformas de controle

O Arduino Mega é uma das plataformas mais utilizadas em termos de instrumentação eletrônica, isso deve-se a sua maior facilidade de prototipação quando comparado a outras plataformas similares, a facilidade de comunicação entre o Arduino e outros periféricos quem ampliam a gama de aplicações dessa plataforma. Para ter uma combinação interessante foi escolhido o Raspberry PI B para se comunicar com o Arduino Mega e proporcionarem um resultado que possa avaliar de modo adequado o quão prejudicial pode ser a exposição a vibração de corpo inteiro. Essas duas plataformas comunicam-se de forma serial para para transferir os dados relativos a aceleração e localização, tais dados são coletados pelo ADXL 3XX e enviados para as portas analógicas disponíveis no Arduino que contem conversores AD de 10 bits, essas portas analógicas mencionadas anteriormente são importantes e tornam o Arduino uma plataforma de instrumentação ideal para o cálculo da dose. Após fazer a conversão AD dos valores de aceleração o Arduino envia os dados serialmente para o Raspberry PI B, mas essa comunicação segue alguns procedimentos e regras porque os dados só podem ser enviados em momentos oportunos e adequados para que o Raspberry PI B possa receber e fazer o devido processamento e retornar os valores resultantes da Dose da exposição.

Os procedimentos iniciais seguem o seguinte padrão, o primeiro passo é à aquisição dos valores de acelerações relativas aos três eixos ortogonais, esses valores coletados são captados pelo acelerômetro ADXL 3XX e imediatamente transferidos para as portas analógicas do Arduino Mega, como foi utilizado os três eixos ortogonais foi necessário reservar três portas analógicas na plataforma Arduino. Após a chegada nas portas analógicas os valores de aceleração irão passar pelo conversor analógico digital, todo esse procedimento só é possível após pressionar o *push button* e pela segunda vez e os dados foram devidamente gravados no cartão SD. Quando ele perceber que o *push button* foi pressionado pela segunda vez será emitida uma mensagem pela serial para a plataforma Raspberry PI B, onde essa mensagem informa o início da transmissão, quando o Raspberry percebe que está chegando informação ele envia um comando de confirmação pela serial para informar o Arduino que já está preparado para receber os valores de aceleração e posição pela comunicação serial. Quando o

Arduino detecta a mensagem de confirmação ele começa a transmitir os dados de vibração para o Raspberry, onde esse salva os valores das acelerações e localização em um arquivo de texto.

O Raspberry tem como função processar esses valores de exposição transmitidos pelo Arduino Mega, então enquanto o Arduino não mandar uma mensagem de início de transmissão a plataforma de processamento fica aguardando os vetores de acelerações dos três eixos. Quando o Raspberry está apto ele envia a mensagem validando a transmissão dos dados e que pode salvar os dados no arquivo de texto, essa transmissão dos dados das vibrações vai ser salvo em um arquivo de texto no seguinte modelo 'exposicao[N]_jornada[M].txt', onde N representam o número da exposição e M o valor da jornada em análise, na primeira exposição após confirmado a possibilidade de envio o Raspberry vai receber os dados e salvar em um arquivo 'exposicao1_jornada1.txt'. Esse primeiro arquivo de texto vai conter todas os valores das aceleração referentes a primeira exposição a que o trabalhador está submetido, logo pode-se criar vários arquivos de textos com valores de aceleração relativos a cada exposição que o trabalhador está exposto durante várias jornadas.

Quando o Raspberry recebeu os dados de aceleração e salvou no arquivo ele vai processar esses dados e vai retornar duas saídas, referente ao *arep* e *vdv*, esses dois valores são referentes a cada exposição logo a criação de um novo arquivo vai sempre criar um novo *arep* e *vdv* referente a a exposição em questão. Para realizar o cálculo de várias exposições ao final do calculo do primeiro arquivo de texto salvo o Raspberry envia a mensagem que está aguardando comando para iniciar nova exposição ou fim da jornada de trabalho, se for iniciada nova exposição o procedimento vai ser o mesmo para a nova exposição, mas se for enviado uma mensagem de fim de jornada o Raspberry coleta todos os valores processados para *arep* e *are*, retornando o valor de *VDVR* e *aren*. Com esses valores é possível classificar o quão prejudicial está sendo a exposição diária do trabalhador a exposição, essa mudança de exposição dita anteriormente pode ser entendida como a mudança do local de trabalho ou equipamento utilizado, por exemplos mudou de uma britadeira e passou para uma furadeira, para cada equipamento pode-se adicionar uma nova exposição.

A seguir pode-se encontrar um diagrama do fluxo de informação do Arduino Mega e do Raspberry PI B, onde é possível observar como a informação se propaga e como é a independência entre as plataformas para haver uma comunicação eficiente e com segurança, esse fator segurança é importante porque negligenciar dados durante a transferência do sinais pode prejudicar no cálculo dos valores de dose, pensando nesse fator segurança foi adicionado vários comandos de validação para enviar e receber dados apenas no momento adequado como pode visto nas figuras [3.6](#) e [3.7](#).

3.2.2 Operação e manipulação de arquivos de exposição e jornada de trabalho

O Arduino Mega fica aguardando que o *push button* seja pressionado para iniciar a aquisição dos sinais de aceleração e localização para que possam ser gravados no dispositivo SD, enquanto ocorre a gravação em SD o Raspberry está aguardando a mensagem do Arduino Mega enquanto não recebe a mensagem a plataforma de processamento fica em modo de repouso. Quando o botão for pressionado pela segunda vez encerra-se a gravação em SD e o Arduino vai ficar emitindo um sinal pela serial comunicando o início da transmissão, quando o Raspberry nota essa mensagem advinda da serial ele emite outra mensagem de confirmação onde comunica para o Arduino que está apto para receber os valores. Quando o Arduino percebeu que o Raspberry está preparado inicia-se assim o processo de transmissão do primeiro arquivo de exposição para o Raspberry, quando todos os dados forem transferidos um arquivo de texto vai ser criado especificando o valor da exposição e em qual jornada essa exposição se encontra.

Na figura 3.8 é possível observar a formação de alguns arquivos de exposição e como eles são instanciados de acordo com a jornada em questão. No exemplo em enfoque é possível observar que todo o protocolo de comunicação foi seguido antes de iniciar a criação do arquivo de exposição ao fim de cada exposição é dada a opção de iniciar uma nova exposição ou finalizar a jornada. Quando é finalizado a jornada todos os valores de exposição parcial são coletados e é efetuado um cálculo da dose total retornando um arquivo de texto com dois elementos cruciais para avaliar como se sucedeu a jornada do trabalhador, VDVR e arep para a jornada em específico. No exemplo mencionado o botão de fim de jornada não foi pressionado, após o fim do cálculo da dose parcial da exposição ele fica aguardando uma nova exposição ou um fim de jornada.

Quando uma nova jornada é iniciada todo o procedimento anterior se repete, o que muda agora é apenas a jornada que o trabalhador está sendo submetido. Mas a forma como é processado o cálculo de cada dose parcial é a mesma para primeira jornada, onde os valores de aceleração dos três eixos é passados por filtros específicos e esses valores filtrados seguem algoritmos matemáticos de acordo com a norma de higiene ocupacional 09, ao final obtêm-se os valores de doses parciais para as exposições e quando o botão de fim de jornada é pressionado todos os valores parciais de arep e vdv são utilizados para obter o valor final da dose resultante e o sistema geral retorna o resultado conforme mostrado na figura 3.9.

Esses valores que serão obtidos ao final de cada jornada serão comparados com uma tabela que está disponível na NHO09, onde ela classifica os níveis aceitáveis de a que os trabalhadores podem estar submetidos sem que a exposição seja prejudicial à saúde. Podendo

assim servir como uma ferramenta que auxilia no processo de segurança do trabalho, visto que exposições prolongadas a vibração de corpo inteiro podem ocasionar diversos riscos a saúde humana.

3.3 Metodologia para aquisição de sinais de aceleração e localização

Para obter os sinais de aceleração de forma adequada, é essencial que o equipamento esteja posicionado da melhor forma possível. Para obter os sinais de aceleração de melhor forma possível os testes realizados foram em automóvel comum para simular condições reais. Para os testes foi utilizado dois participantes um para conduzir o veículo e outro para verificar se o aparelho não apresentava falhas durante o percurso.

O aparelho foi introduzido no solo do veículo na região próxima do passageiro, neste local seria possível uma melhor captura dos sinais, nos testes realizados o acelerômetro ficou no solo pega os sinais diretamente. Em projetos futuros algo que pode aperfeiçoar a aquisição do sinal seria a adequação do sensor de aceleração em uma almofada compacta, de modo que possa obter os sinais diretamente na poltrona do condutor do veículo. Mas o aparelho operando na forma em que foi disposto no veículo consegue capturar os dados relacionados a vibração de modo adequado. O sensor de localização que possuía uma antena para captar o sinal de localização com mais precisão estava inserido na parte externa do veículo, a antena mencionada anteriormente possui o tamanho um pouco maior que o de uma moeda. Para a fixação da antena no veículo foi simples, visto que a antena tinha um pequeno ímã que facilitava a aderência com a estrutura metálica do veículo.

O trecho escolhido para obter os sinais foi um trecho com uma extensão de um pouco mais de 7 km, onde possui regiões bem distintas. Nessas regiões é previsto que o acelerômetro consiga capturar as mais diversas variações do solo de acordo com a evolução do trajeto, durante os testes a velocidade era de aproximadamente uns 70 *km/h* tentando manter a velocidade em que veículo de transporte urbano operam.

3.4 Análise de dados de exposição a vibração de corpo inteiro

A análise dos sinais relacionados à vibração adquiridos passará por um bloco de instruções para melhor ser realizada a análise dos dados, esse bloco de instruções foi realizado utilizando a linguagem C++. No começo do programa é separado três portas analógicas do microcontrolador Arduino Mega, essas portas analógicas receberão os sinais advindos do acelerômetro ADXL 3XX tais valores serão adquiridos em milivolts, posteriormente será feita uma conversão para que esses dados em termos de tensão sejam convertidos para valor em termos de aceleração dado em m/s^2 que será necessários para efetuar as análises da exposição a vibração de corpo inteiro.

Algumas linhas de comando foram desenvolvidas para indicar o momento que se deseja que os o circuito inicie a aquisição dos sinais e uma lógica de LEDs para indicar quando o programa está efetuando a leitura, gravação ou transmissão dos sinais relacionados à vibração.

Um bloco específico de instrução foi construída para a criação do arquivo onde vai ser gravado os sinais adquiridos pelo acelerômetro, então a cada aquisição de sinal um arquivo .txt é criado com os respectivos dados salvos e indicando o tempo de duração da aquisição, esse valor de tempo é dado em micro segundos. A gravação desses dados criados no .txt será gravado em um cartão SD, existe estruturas lógicas para verificar se o cartão está conectado e se está pronto para efetuar a gravação no cartão SD.

Os dados adquiridos pelo acelerômetro não são imediatamente enviados para o cartão SD, foi criados alguns *buffers* para carregar uma determinada quantidade de informação e gravar quando os *buffers* estiverem com seus valores limites alcançados, isso é importante pois proporciona um menor consumo de energia, visto que os valores serão gravados após acumular uma determinada quantidade de informação e não mandando a cada amostra coletada. Os sinais das leituras do GPS também foram desenvolvidos de modo que possa obter um valor de latitude e longitude a cada 30 segundos, isso vai possibilitar identificar os trechos mais críticos das rotas por onde o protótipo desenvolvido vai passar.

Após adquirir os sinais e realizar as instruções básicas o próximo passo é a aquisição dos parâmetro básicos para efetuar a análise da exposição a vibração, o parâmetro do Valor da dose de Vibração será utilizado para indicar no mapa os trechos com maiores índices de vibração no mapa, essa possibilidade de relacionar os dados com a respectiva posição é uma técnica interessante pois possibilita ao usuário do circuito visualizar quais os trechos da rota possuem os maiores valores de dose de vibração que implicam sérios problemas a saúde.

Após passar pela comunicação serial os dados do Arduino Mega serão processados pelo Raspberry PI B, neste microcontrolador tem um programa sendo executado na linguagem Python, onde a ideia geral é que a plataforma de processamento fica aguardando o início de transmissão, que vai ser uma mensagem enviada pela serial do Arduino Mega. Quando o programa do python enviar uma mensagem que está apta para receber os valores de vibração, o Arduino vai transmitir todos os dados coletados na exposição em questão e esses dados serão salvos em um arquivo de texto dentro do Raspberry PI B. Com uma arquivo de texto contendo os valores de vibração o próximo passo foi criar rotinas de programação para abrir esse arquivo de texto de cada exposição e efetuar o cálculo dos valores parciais de dose de cada exposição.

A cada novo ciclo o programa fica esperando duas entradas da serial, uma é para início de nova exposição ou fim de jornada. Se for uma nova exposição ele vai esperar a mensagem de início de transmissão e posteriormente enviar uma mensagem pela serial confirmando que está apto a receber os dados pela serial e salvar em arquivo de texto. Caso a serial receba a informação de fim de jornada um bloco do programa recolhe todas as doses parciais e efetua o cálculo da dose total e retorna os dois parâmetros básicos para avaliar a exposição à vibração durante determinada jornada.

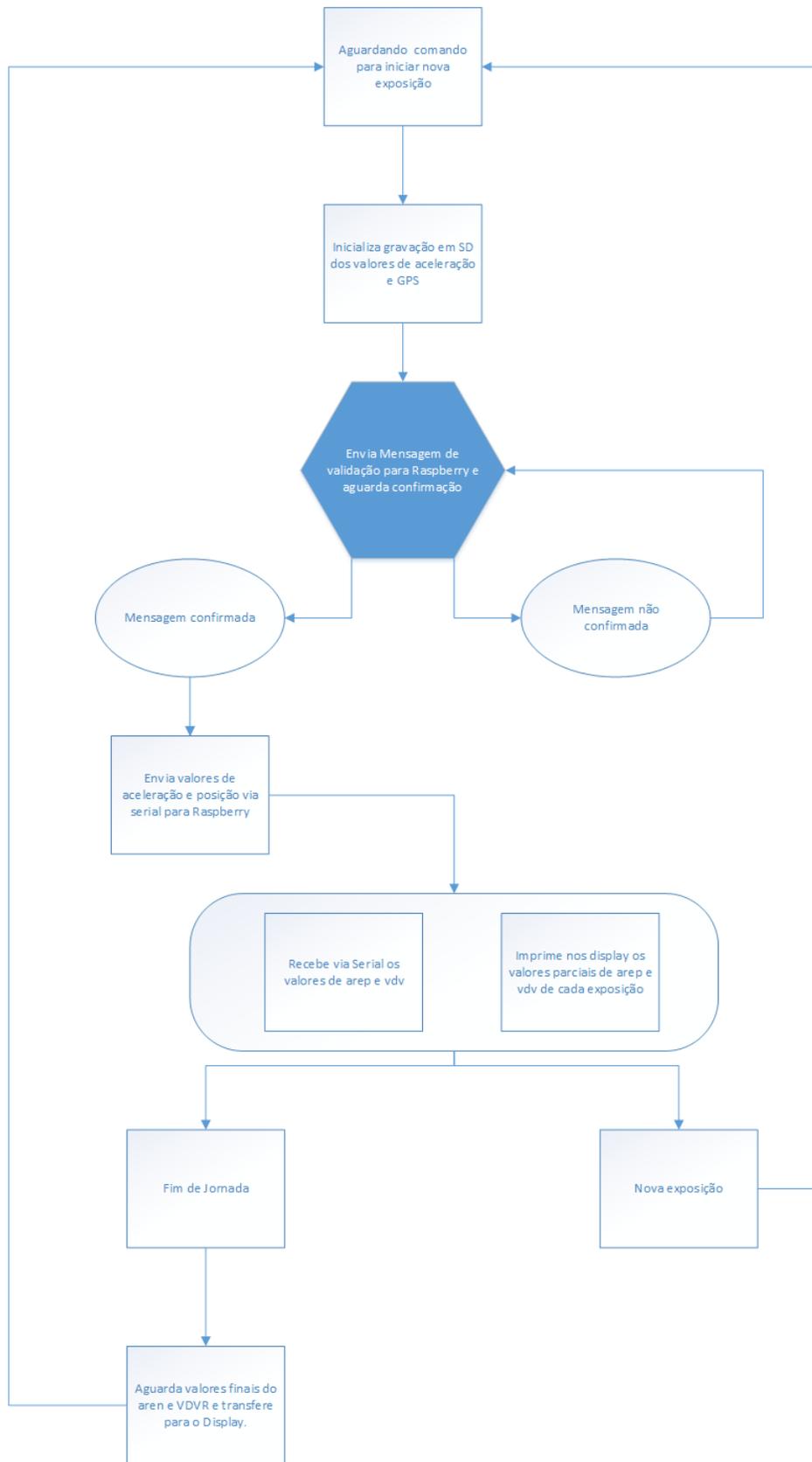


Figura 3.6. Esquemático do fluxo de informação no Arduino Mega.

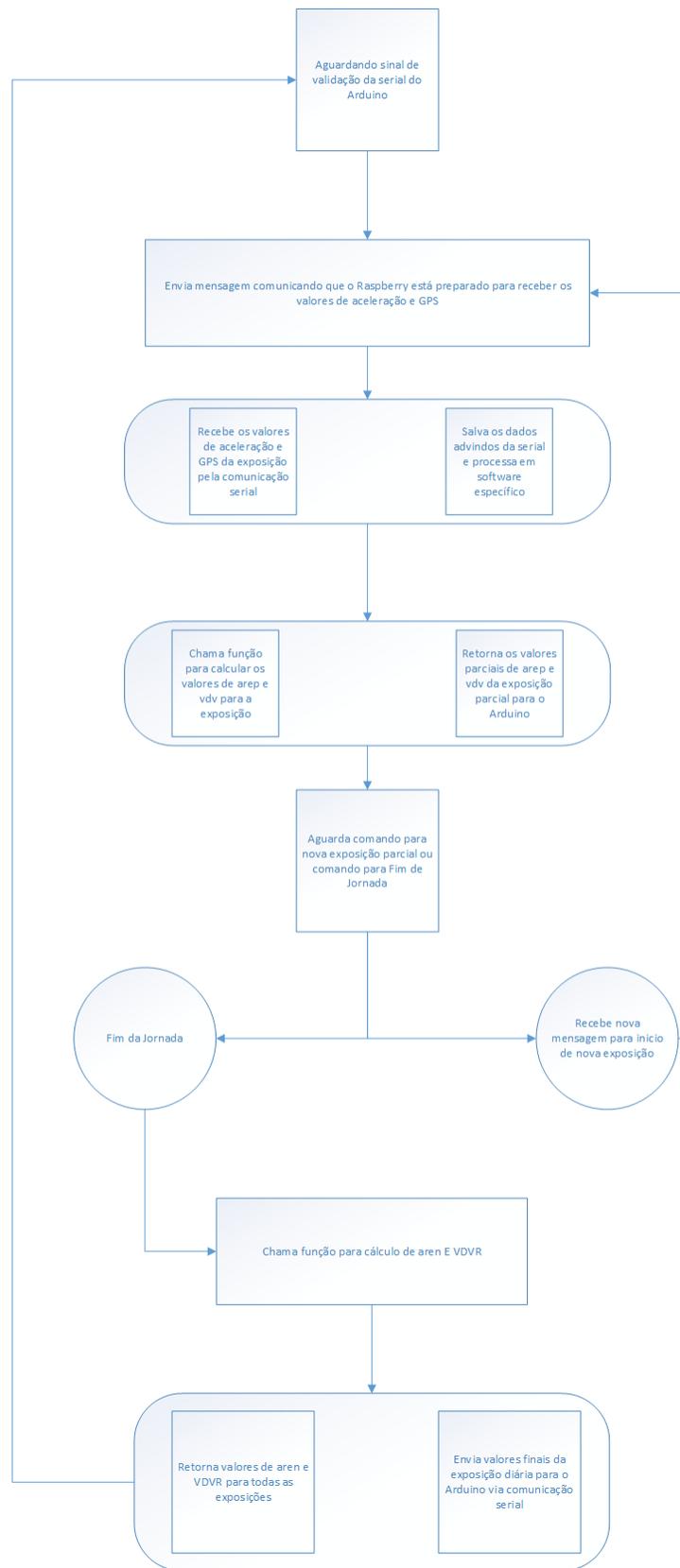


Figura 3.7. Esquemático do fluxo de informação no Raspberry PI B.

```
Arduino: INICIANDO_TRANSMISSAO_EXPOSICAO1
=====
Dados de exposicao 1
=====
Raspberry: recebida mensagem do Arduino de inicio de transmissao de exposicao.
Raspberry para Arduino: mensagem de confirmacao de recebimento
Raspberry: Recebendo dados de exposicao, e salvando em exposicao1_jornada1.txt
Raspberry: arquivo exposicao1_jornada1.txt salvo.
Raspberry: efetuando calculo de doses da exposicao...
warning: X11 DISPLAY environment variable not set
Raspberry: Efetuado calculo de doses da exposicao.
=====
Raspberry: Aguardando mensagem do Arduino referente a inicio de transmissao de dados de exposicao ou fim de jornada...
Arduino: Iniciada.

Arduino: Encerrada.

Arduino: INICIANDO_TRANSMISSAO_EXPOSICAO2
=====
Dados de exposicao 2
=====
Raspberry: recebida mensagem do Arduino de inicio de transmissao de exposicao.
Raspberry para Arduino: mensagem de confirmacao de recebimento
Raspberry: Recebendo dados de exposicao, e salvando em exposicao2_jornada1.txt
Raspberry: arquivo exposicao2_jornada1.txt salvo.
Raspberry: efetuando calculo de doses da exposicao...
warning: X11 DISPLAY environment variable not set
Raspberry: Efetuado calculo de doses da exposicao.
=====
Raspberry: Aguardando mensagem do Arduino referente a inicio de transmissao de dados de exposicao ou fim de jornada...
```

Figura 3.8. Exposições para jornada 1.

```
Arduino: INICIANDO_TRANSMISSAO_EXPOSICAO2
=====
Dados de exposicao 2
=====
Raspberry: recebida mensagem do Arduino de inicio de transmissao de exposicao.
Raspberry para Arduino: mensagem de confirmacao de recebimento
Raspberry: Recebendo dados de exposicao, e salvando em exposicao2_jornada2.txt
Raspberry: arquivo exposicao2_jornada2.txt salvo.
Raspberry: efetuando calculo de doses da exposicao...
warning: X11 DISPLAY environment variable not set
Raspberry: Efetuado calculo de doses da exposicao.
=====
Raspberry: Aguardando mensagem do Arduino referente a inicio de transmissao de dados de exposicao ou fim de jornada...
Arduino: JORNADA_FINALIZADA

Raspberry: recebida mensagem do Arduino de fim de jornada.
Raspberry para Arduino: mensagem de confirmacao de recebimento
=====
Jornada finalizada. Efetuando calculo de dose total.
=====
warning: X11 DISPLAY environment variable not set
Dose total calculada.
=====
Raspberry: Aguardando mensagem do Arduino referente a inicio de transmissao de dados de exposicao ou fim de jornada...
```

Figura 3.9. Doses resultante após pressionar fim de jornada.

4 Resultados

Este capítulo apresentará os resultados obtidos durante todos os testes realizados para avaliar o funcionamento do sistema. Para ser mais elucidativo esse capítulo foi dividido em duas seções para mostrar as evoluções dos testes durante a elaboração do sistema para adquirir os sinais de aceleração e localização geográfica.

4.1 Primeira Etapa

Após a implementação do circuito o próximo passo foi a realização dos testes, a partir desses testes realizados na rota especificada, foi possível a obtenção de arquivos que descrevem as acelerações durante todo o percurso do teste, após a aquisição desses sinais foi possível a elaboração de gráficos, como podem ser vistos na figura 4.1 onde na primeira metade podem ser vistos sinais com amplitudes maiores, isso deve-se ao fato que na primeira parte da rota não existia uma camada asfáltica, conseqüentemente havia diversas imperfeições no solo, essas más condições do solo foram capturadas pelo acelerômetro e indica esses picos de maiores amplitudes, já na segunda parte do trajeto observa-se uns picos com valores de amplitude um pouco menores, isso é devido à presença da pavimentação asfáltica dessa parte do trecho que possibilitou menores indicies de aceleração.

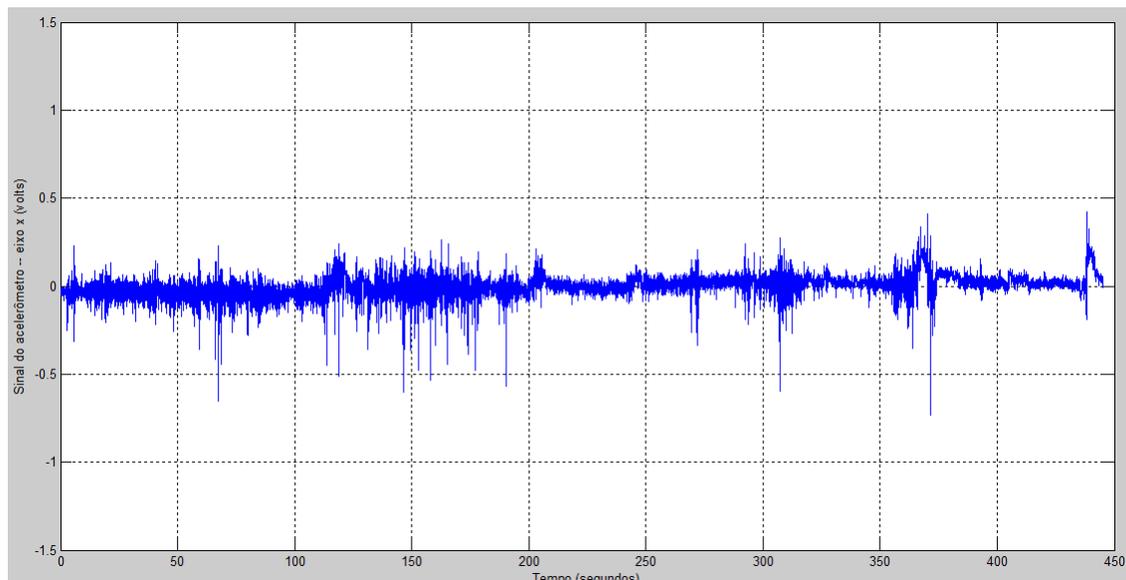


Figura 4.1. Sinais de vibração adquiridos para o eixo X.

A figura 4.2 possibilita a visualização de duas regiões distintas do teste dessa etapa,

uma primeira que ocorre os maiores índices de vibração e uma segunda que ocorre valores menores, essa diferenciação nas amplitudes dos termos deve-se, principalmente, pelas más condições do trecho. Cabe ressaltar que todos os sinais foram adquiridos em situações reais onde foram identificados os trechos com dois índices, onde o índice número 1 indica o trecho que contém trechos com muitas imperfeições do solo, essas imperfeições são identificadas pelo acelerômetro. Já o índice número 2 indica a região da rota onde o solo possui menos imperfeições, porém existe alguns picos na região onde deveria estar com os menores valores de amplitude, esses picos esporádicos deve-se ao fato que mesmo na região mais adequada para o trajeto existem pequenos trechos específicos tinham algumas imperfeições no solo que foram capturadas pelo acelerômetro, isso demonstra que o circuito está capturando até valores muito pontuais de falhas na estrada.

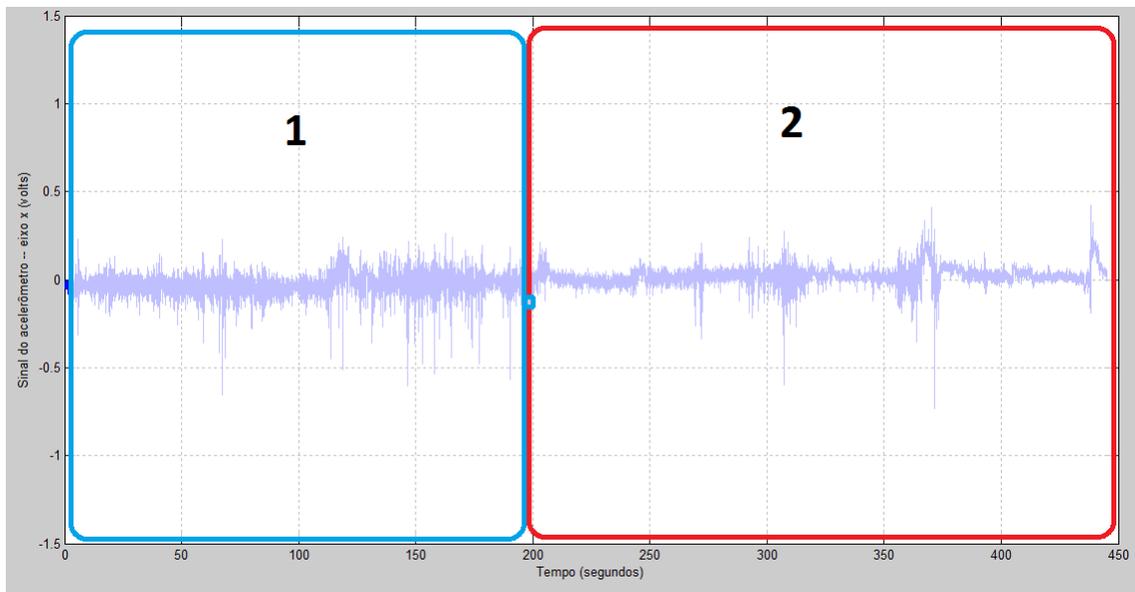


Figura 4.2. Trechos destacados para identificação da variação da amplitude nas duas regiões selecionadas.

O valor RMS auxilia na análise dos sinais de vibração, pois esse consegue obter o valor eficaz para uma região estabelecida, uma região temporal de 30 segundos foi estabelecida para analisar o sinal obtido experimentalmente e retornou 44 valores eficazes que serão ilustrados seguir, mas além do valor RMS outro fator que auxilia na análise dos dados de vibração é a frequência mediana das amostras, então a rota desenvolvida no trecho proposto foi particionada em 44 partes, de modo a tentar verificar os valor RMS e frequência mediana em todos esses trechos como pode ser visto na figura 4.3. Essa foi uma aproximação elaborada para uma melhor visualização entre as características dos sinais com as suas respectivas posições em relação a rota proposta. Como é um resultado preliminar essa rota foi particionada ma-

nualmente, mas para o próxima etapa do projeto esse particionamento da rota será realizado automaticamente com a ajuda do GPS e já vai ser vinculado aos respectivos valores de doses nos trechos particionados.



Figura 4.3. Particionamento manual da rota estabelecida em 44 trechos.

Após a visualização do particionamento da rota, os dados referentes às características dos sinais de vibração obtidos serão dispostos na tabela 4.1, em que pode-se constatar que os valores eficazes nos primeiros trechos particionados são maiores que os valores eficazes encontrados na parte final do trajeto. Isso decorre do fato que nos primeiros quilômetros tem-se uma estrada com más condições e na segunda parte é uma pista mais adequada, visto que os valores eficazes são menores. Esses valores podem auxiliar na análise dos dados de quanto prejudicial está sendo a vibração em cada trecho, como no exemplo proposto os valores de vibração de corpo inteiro são maiores na primeira parte da rota e isso pode ser visto pelos maiores valores de RMS 2.3 nesse trecho e isso pode ser constatado na tabela 4.1.

Após realizado uma pequena análise dos dados fornecidos pela tabela constata-se que o valor das frequências medianas é mais sensível às variações existentes na estrada. A tabela 4.1 descreve em formato numérico as imperfeições encontradas no solo a partir dos valores de RMS e frequência mediana, onde nos primeiros 22 termos encontra-se valores relativamente altos em relação a outra metade dos termos disponibilizados na tabela, isso é devido a nítida diferença entre os trechos do percurso. Na segunda metade da rota que compreende as amostras de nº 23 em diante, é esperado valores inferiores ao da primeira metade, mas em alguns pontos específicos existem valores altos. Isso pode ser devido à presença de falhas na

Tabela 4.1. Valores característicos dos sinais vibração de corpo inteiro coletados.

n°	RMS [V]	Frequências Medianas [Hz]	n°	RMS [V]	Frequências Medianas [Hz]
1	0,46	6,11	23	0,16	6,65
2	0,36	5,12	24	0,17	8,36
3	0,35	5,21	25	0,35	0,18
4	0,35	5,66	26	0,19	6,47
5	0,38	5,84	27	0,19	6,74
6	0,37	5,48	28	0,22	5,66
7	0,50	6,11	29	0,24	1,35
8	0,50	5,12	30	0,36	6,47
9	0,52	5,93	31	0,51	6,47
10	0,44	1,26	32	0,29	5,84
11	0,40	2,88	33	0,28	0,18
12	0,54	6,20	34	0,18	1,26
13	0,42	6,02	35	0,23	4,76
14	0,47	2,88	36	0,35	7,91
15	0,54	6,20	37	0,73	1,35
16	0,49	6,47	38	0,50	0,18
17	0,55	6,83	39	0,25	1,44
18	0,55	6,11	40	0,20	1,80
19	0,23	2,70	41	0,28	0,27
20	0,25	1,53	42	0,14	1,53
21	0,44	0,18	43	0,17	0,18
22	0,14	7,55	44	0,24	0,54

estrada, mesmo esse sendo o trecho tido como mais adequado e com menos imperfeições ao longo da rota.

4.2 Segunda Etapa

Nessa segunda etapa consistiu de testes para avaliar o adequado funcionamento do módulo GPS adicionado ao sistema total, em um primeiro teste foi avaliado como seria concatenação dos dois sinais juntos em apenas um arquivo de texto que seria emitido ao Raspberry PI B, o

sinal de GPS não é enviado a todo instante para gravação, cada valor de GPS leva em média 30 segundos para ser gravado no arquivo de texto. Essa janela para ocorrer a gravação é de 30 segundos, porque é o tempo para ocorrer um deslocamento necessário para atualizar a variável da *shield* do GPS, se a todo instante efetuasse a gravação da posição existiria diversas linhas com valores idênticos de localização. Na figura 4.4 pode ser observado como o valor de posição geográfica é inserido no arquivo de texto e, posteriormente, enviado para a plataforma de processamento. Nessa figura é possível observar que as linhas com os valores das acelerações dos três eixos, sensor de pressão e tempo estão delimitados por dois índices, isso é para que o Raspberry no momento que receber a mensagem, ele possa efetuar um teste para verificar se a mensagem está chegando de modo adequado e se não está faltando nenhum tipo de informação.

```

A31043672, -1.162, -1.123, -0.977, 1Z
A31044256, -1.162, -1.123, -0.977, 1Z
A31044848, -1.162, -1.123, -0.977, 1Z
A31045432, -1.162, -1.123, -0.986, 1Z
A31046016, -1.172, -1.123, -0.986, 1Z
A31046600, -1.162, -1.123, -0.986, 1Z
A31047184, -1.162, -1.123, -0.977, 1Z
A31047768, -1.162, -1.123, -0.977, 1Z
A31048352, -1.162, -1.123, -0.977, 1Z
GPS: 32214, -15.91, -48.05
A32216016, -1.172, -1.133, -0.977, 1Z
A32216592, -1.172, -1.133, -0.977, 1Z
A32217172, -1.182, -1.133, -0.977, 1Z
A32217752, -1.172, -1.133, -0.977, 1Z
A32218336, -1.172, -1.123, -0.977, 1Z
A32218912, -1.182, -1.133, -0.986, 1Z
A32219488, -1.182, -1.133, -0.977, 1Z
A32220064, -1.172, -1.133, -0.977, 1Z
A32220640, -1.172, -1.133, -0.977, 1Z
A32221220, -1.172, -1.133, -0.977, 1Z
A32221800, -1.182, -1.133, -0.977, 1Z
A32222376, -1.182, -1.133, -0.977, 1Z
A32222952, -1.182, -1.133, -0.977, 1Z
  
```

Figura 4.4. Concatenação do sinal de aceleração e localização .

Os dados de localização foram gravados de acordo com a janela mencionada, a disposição do sinal de localização no arquivo é de acordo com um temporizador interno para mapear quando chega cada sinal. Os dados de latitude e longitude permitem mapear em qual trecho do teste foi disposto determinada janela do trajeto. Com esse mapeamento por janelas de tempo é possível realizar um monitoramento da variação dos valores de dose ao longo do trajeto e é possível localizar onde se sucedeu o evento a partir desses dados de localização.

Pensando em realizar um teste sistemático para avaliar a variação do valor de Dose ao longo de uma rota e averiguar se o sistema desenvolvido está funcionando adequadamente, foi escolhido realizar testes na mesma rota da primeira etapa. Essa rota em questão apresenta características importantes que a tornam um teste interessante para o equipamento elaborado para efetuar o cálculo das Doses, ela possui duas etapas com terrenos bem extremos, onde em uma primeira etapa tem uma região bastante danificada com inúmeras imperfeições no

solo, nesse trecho é esperado que o valor da Dose seja mais elevado nas janelas de tempo calculadas visto que o acelerômetro vai captar maiores índices de perturbações causadas na estrutura do veículo. Essas perturbações são quando o veículo passa por regiões críticas aí quando o carro tem uma pequena oscilação e tenta restabelecer para retornar ao valor de equilíbrio o acelerômetro trabalha captando essa variações bruscas. Já na segunda parte do trajeto é uma região com uma manta asfáltica nova, então nessa região é esperado que o valor da Dose nesse seja menor, visto que o carro nessa região não terá muita oscilação devido as melhores condições do solo.

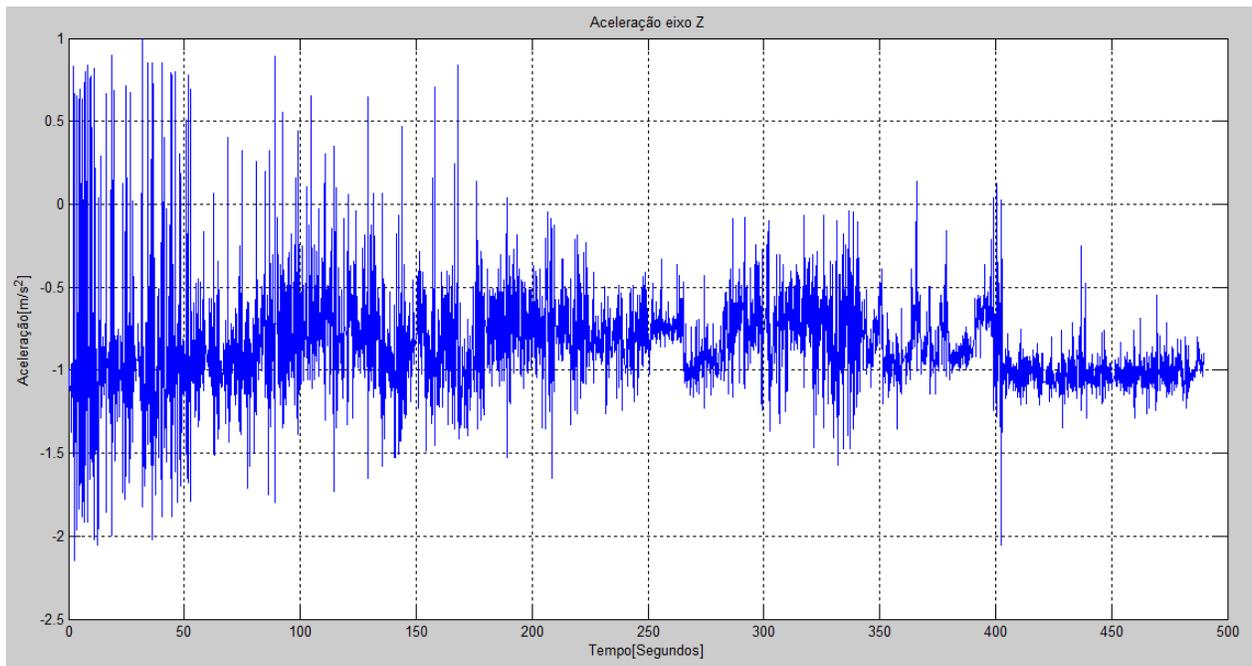


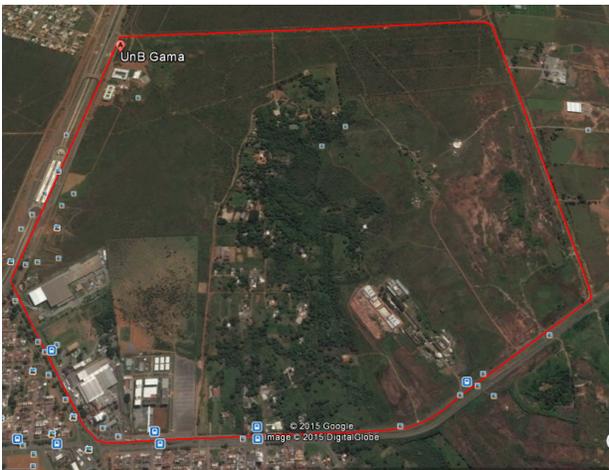
Figura 4.5. Valores de aceleração avaliados no eixo Z durante teste.

O teste efetuado nessa segunda etapa foi um pouco distinto do teste realizado na primeira etapa, na atual etapa os valores de aceleração foram adquiridos já em valores de aceleração em m/s^2 enquanto que na primeira etapa os valores utilizados eram os valores brutos que o conversor analógico digital fornecia. Na figura 4.5 é possível observar a variação dos valores de aceleração no decorrer do tempo, conforme foi mencionado anteriormente, a primeira parte da rota selecionada consistia de uma região crítica, e essa região de condições extremas provocou uma maior oscilação na estrutura do veículo e conseqüentemente no acelerômetro. Na primeira parte da figura pode ser visualizado que os valores de aceleração sofrem maiores variações em relação a segunda parte da rota. Essas variações nas amplitudes das acelerações tem relação com o valor da dose para cada janela de tempo, então em janelas temporais que apresentam grandes variações dos valores de aceleração é esperado que o valor de Dose

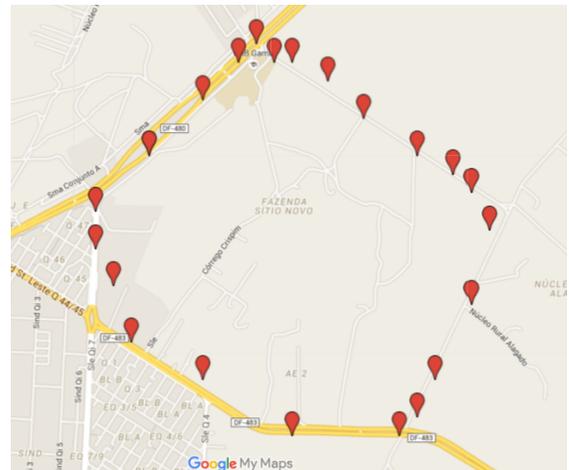
seja maior.

A mudança do valor da Dose vai ocorrer em pequenos trechos, essa avaliação do valor da Dose em pequenos trechos possibilita uma melhor descrição de como o valor da Dose se altera durante o percurso, para o teste específico é aguardado que na primeira parte o valor da dose seja superior em relação ao valor da segunda parte. Na tabela 4.2 pode ser visto essa variação dos valores de Dose de acordo com os dados de posição geográfica de acordo com a janela em que foi analisado. Nas primeiras janelas o valor da dose está maior em relação as últimas janelas, isso é devido as imperfeições presente na primeira parte da rota que proporcionaram que as variações dos valores de aceleração fossem maiores e conseqüentemente o valor da dose na janela temporal especificada. Um paralelo pode ser feito entre as tabelas 4.2 e 4.1 onde pode-se encontrar uma relação entre os valores de Dose e os valores RMS, na primeira metade de todas as tabelas é possível notar valores maiores seja em valores de Dose e valores RMS, enquanto que na segunda parte das tabelas é notável que as amplitudes desses valores são menores em relação a primeira parte.

A variação dos valores de Dose em cada janela foi de acordo com o esperado, no primeiro setor do trajeto índices de dose mais elevados e na segunda parte índices inferiores. Os valores de aceleração foram adquiridos junto com o sinal de posição como foi mencionado, essa aquisição conjunta possibilita uma plotar um mapa com os marcadores indicando onde ocorreu o cálculo da Dose, isso possibilita mapear os locais com maiores valores de vibração de corpo inteiro avaliando o valor da dose na posição em questão. O mapeamento descrito na figura 4.6 pode elucidar os pontos onde ocorrem a aquisição do valor da dose durante o teste, uma análise interessante a ser feita é observar que no primeiro trecho os marcadores parecem estar mais próximos, isso deve-se as más condições do solo. Diante das más condições do solo o condutor do veículo onde estava sendo realizado o teste diminuiu a velocidade do automóvel porque aquela rota poderia danificar o carro, então o primeiro trecho exigiu um maior tempo para ser finalizada por isso tem tantos marcadores na primeira parte. Já na segunda parte os marcadores estão mais espaçados, isso é porque o solo no segundo trecho é mais adequado e a velocidade do veículo foi maior, por isso o marcadores estão mais distantes.



(a) Rota vista pelo satélite



(b) Adicionando marcadores na rota de teste

Figura 4.6. Rota original e rota mapeada utilizando dados de localização.

Tabela 4.2. Tabela de Doses para valores de localização.

Janelas	Latitude	Longitude	Dose [m/s ^{1.75}]
1	-15.988	-48.043	0.4912
2	-15.988	-48.042	0.3098
3	-15.989	-48.040	0.2882
4	-15.990	-48.037	0.2192
5	-15.991	-48.038	0.2495
6	-15.993	-48.035	0.2922
7	-15.994	-48.033	0.1985
8	-15.995	-48.032	0.2184
9	-15.997	-48.031	0.2012
10	-16.001	-48.032	0.1518
11	-16.005	-48.034	0.1621
12	-16.007	-48.035	0.1763
13	-16.008	-48.036	0.1248
14	-16.008	-48.042	0.1147
15	-16.005	-48.047	0.1153
16	-16.003	-48.051	0.1823
17	-16.000	-48.052	0.1999
18	-15.998	-48.053	0.1813
19	-15.996	-48.053	0.1420
20	-15.993	-48.050	0.1104
21	-15.992	-48.052	0.2067
22	-15.993	-48.050	0.0947
23	-15.990	-48.047	0.0878
24	-15.988	-48.045	0.0808
25	-15.987	-48.044	0.0963

Efetuada uma análise da tabela acima e observando mais especificamente os valores de dose é possível constatar que o módulo dos valores de doses são pequenos de acordo com o previsto em norma, esses valores pequenos tem um significado, deve-se ao fato de que o tempo de exposição foi pequeno entre cada janela e esse valor de dose tende a aumentar conforme o número de exposições a que o trabalhador está submetido aumenta e o tempo em que ocorre a exposição e quantas repetições ocorrem o evento. Tais fatores mencionados anteriormente proporcionam que o valor da dose aumente significativamente, analisando os valores da dose é possível observar que na situação do teste o ambiente se classificou como aceitável após comparar os valores de doses obtidos e os valores indicados na norma. Quando valores elevados de dose são encontrados a norma NHO09[21] indica ações a serem tomadas para tentar minimizar o efeito nocivo que doses excessivas podem proporcionar a saúde do trabalhador, para os valores de dose encontrados no teste a norma indica que as condições existentes sejam mantidas, isso porque o ambiente onde as doses foram analisadas foi classificado como aceitável.

5 Conclusão

Este projeto teve a proposta de um sistema para mensurar os valores de dose de vibração com localização geográfica em trabalhadores que estão expostos a vibração de corpo inteiro. Também teve como objetivo como entender alguns problemas que a vibração da estrutura do veículo podem ocasionar na saúde do trabalhador. Diante disso foram levantadas diversas referências para tentar compreender como é a regulação da exposição do trabalhador a níveis de vibração de corpo inteiro, então levou-se em conta normas nacionais e internacionais para segurança do trabalho. O sistema possui um acelerômetro de três eixos, módulo GPS que fornece a localização geográfica, cartão SD e o sensor de pressão simulado por um *push button*. Para que esses cálculos de dose sejam feitos é necessário uma ampla gama de programas desenvolvidos com a teoria de processamento de sinais e linguagem de programação avançada.

A principal diferença desse projeto para os outros projetos similares encontrados pelo autor está presente do dispositivo de visualização, taca de gravação e aquisição, localização geográfica e métodos de comunicação. Esse projeto apresenta duas plataformas de controle, uma específica para processamento e outra para aquisição de sinais, dessa forma as funções ficam bem divididas. Essas características tornam o sistema bem atrativo para ser implementado comercialmente.

Para haver uma implementação comercial, o protótipo deverá sofrer alguns ajustes para otimizar ainda mais o método do cálculo das doses. Tais ajustes seriam, transferência completa do sistema para uma placa de circuito impresso, evitando a que o efeito do ruído seja mais agravante no sistema, outra melhoria é melhoria da forma de comunicação entre as placas. A comunicação serial atende as exigências mas para projetos mais sofisticados é necessários uma forma de comunicação mais ágil. Outra melhoria que seria interessante é a adição do sinal de velocidade para auxiliar na análise dos sinais de vibração ao longo do trajeto. Em projetos futuros uma tarefa essencial é tornar o produto mais compacto e robusto visando atender as demandas do mercado em busca de produtos pequenos, leves e eficientes.

Esse projeto foi desenvolvido em parceria com uma empresa de transporte terrestre para avaliar o quão prejudicial pode ser uma viagem para um condutor do veículo que está exposta a vibração advinda da estrutura do veículo durante toda jornada de trabalho. Essa parceria é importante porque esse projeto é de suma importância para avaliar os níveis de doses e verificar se é prejudicial a saúde do condutor do veículo.

Referências

- [1] Helmut Seidel. Selected health risks caused by long-term, whole-body vibration. *American Journal of Industrial Medicine*, 23(4):589–604, 1993.
- [2] Tiago Becker. Desenvolvimento de uma mesa vibratória para estudos sobre vibração no corpo humano, medições em um grupo de motoristas e ajuste de um modelo biodinâmico. 2006.
- [3] Márcio Walber and Alberto Tamagna. Avaliação dos níveis de vibração existentes em passageiros de ônibus rodoviários intermunicipais, análise e modificação projetual. *Revista Liberato*, 11(15), 2010.
- [4] L.F Silva and René Mendes. Exposição combinada entre ruído e vibração e seus efeitos sobre a audição de trabalhadores. *Revista de Saúde Pública*, 39(1):9–17, 2005.
- [5] Bengt-Olov Wikström, Anders Kjellberg, and Ulf Landström. Health effects of long-term occupational exposure to whole-body vibration: a review. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14(4):273–292, 1994.
- [6] M Bovenzi and CTJ Hulshof. An updated review of epidemiologic studies on the relationship between exposure to whole-body vibration and low back pain (1986–1997). *International archives of occupational and environmental health*, 72(6):351–365, 1999.
- [7] Massimo Bovenzi. Medical aspects of the hand-arm vibration syndrome. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 6(1):61–73, 1990.
- [8] B Rehn, T Nilsson, R Lundström, Mats Hagberg, and L Burström. Neck pain combined with arm pain among professional drivers of forest machines and the association with whole-body vibration exposure. *Ergonomics*, 52(10):1240–1247, 2009.
- [9] T Kakosy, L Nemeth, G Kiss, M Lászlóffy, and K Kardos. [clinical features of the hand-arm vibration syndrome in miners]. *Orvosi hetilap*, 147(18):833–839, 2006.
- [10] Charlotte Åström, Börje Rehn, Ronnie Lundström, Tohr Nilsson, Lage Burström, and Gunnevi Sundelin. Hand-arm vibration syndrome (havs) and musculoskeletal symptoms in the neck and the upper limbs in professional drivers of terrain vehicles - a cross sectional study. *Applied ergonomics*, 37(6):793–799, 2006.
- [11] Ministério dos Transportes. Transporte Rodoviário. <http://www.transportes.gov.br/transporte-rodoviario.html/>, 2014. [Online; accessed 16-Maio-2015].

- [12] National Instruments. Conceitos básicos da amostragem analógica . <http://www.ni.com/white-paper/3016/pt/>, 2014. [Online; accessed 25-Junho-2015].
- [13] Cyril M Harris, Allan G Piersol, and Thomas L Paez. *Harris' shock and vibration handbook*, volume 5. McGraw-Hill New York, 2002.
- [14] M Cardinale and MH Pope. The effects of whole body vibration on humans: dangerous or advantageous? *Acta Physiologica Hungarica*, 90(3):195–206, 2003.
- [15] Norma Regulamentadora No. 15. atividades e operações insalubres-anexo nº8 vibrações, 2010.
- [16] Alexandre Balbinot. *Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde*. Doutorado, Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.
- [17] MJ Griffin, HVC Howarth, PM Pitts, S Fischer, U Kaulbars, PM Donati, and PF Bereton. Guide to good practice on whole-body vibration. *European Commission Directorate General Employment, Social Affairs and Equal Opportunities (contract VC/2004/0341)*, 2006.
- [18] Sabine MP Verschueren, Machteld Roelants, Christophe Delecluse, Stephan Swinnen, Dirk Vanderschueren, and Steven Boonen. Effect of 6-month whole body vibration training on hip density, muscle strength, and postural control in postmenopausal women: A randomized controlled pilot study. *Journal of bone and mineral research*, 19(3):352–359, 2004.
- [19] MAJW Cardinale and J Wakeling. Whole body vibration exercise: are vibrations good for you? *British journal of sports medicine*, 39(9):585–589, 2005.
- [20] Factor segurança. Vibrações. <http://www.factor-segur.pt/shst/docinformativos/Vibracoes.pdf>, 2014. [Online; accessed 26-Junho-2015].
- [21] Ministério do Trabalho e Emprego BRASIL. NHO 09: avaliação da exposição ocupacional de vibrações de corpo inteiro, 2013.
- [22] Connapa. Normas sobre Vibração. <http://www.connapa.com.br/normas-sobre-vibracao/>, 2013. [Online; accessed 05-Junho-2015].

- [23] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO. 2631-1: mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole-body vibration: Part 1: general requirements., 1997.
- [24] EUROPEAN COMMISSION. Directive 2002/44/ec of the european parliament and of the council of 25 june 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration), 2002.
- [25] Larson Davis. Technical reference manual hvm100, 2010.
- [26] LF Patsko. Tutorial–aplicações, funcionamento e utilização de sensores. *Maxwell Bohr Instrumentação Eletrônica e Pesquisa e Desenvolvimento de Produtos*, 200, 2006.
- [27] Universidade Federal do Ceará. Tipos mais comuns de acelerômetros. <http://http://www.seara.ufc.br/tintim/tecnologia/acelerometro/acelerometro01.htm>, 2013. [Online; accessed 13-Junho-2015].
- [28] Lígia J Figueiredo, Ana R Gafaniz, Gustavo S Lopes, and Rúben Pereira. Aplicações de acelerómetros. *Monografia. Lisboa, Portugal*, 2007.
- [29] J.A.S.Budzinski. Trabalho para a disciplina de Instrumentação Eletrônica. <http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/1999/joao/funcionamento.htm>, 2014. [Online; accessed 13-Junho-2015].
- [30] Interlink electronics. FSR-402 . <http://www.interlinkelectronics.com/FSR402.php>, 2015. [Online; accessed 14-Junho-2015].
- [31] Eric mayor Silveira. Sistema de aquisição de dados para palmilha instrumentada com transmissão sem fio e software de visualização. 2007.
- [32] Ana Cláudia Ferreira Preto. Sistema de aquisição de dados para monitorização de transportes de carga. 2013.
- [33] Claudio Romero. Rastreamento de posição por satélite com monitoração e transmissão de dados. 2013.
- [34] U.S. Coast Guard. Navstar GPS User Equipment Introduction . <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>, 1996. [Online; accessed 14-Junho-2015].
- [35] FilipeFlop. Usando o Arduino GPS shield com google earth . <http://blog.filipeflop.com/arduino/usando-o-arduino-gps-shield-com-google-earth.html>, 2014. [Online; accessed 14-Junho-2015].

- [36] Felipe Silva Davidson. Sistema de comunicação bluetooth utilizando microcontrolador, 2009.
- [37] Marcelo Marchesan. Sistema de monitoramento residencial utilizando a plataforma arduino. *Santa Maria*, 2012.
- [38] Michael McRoberts. *Arduino básico*. Novatec Editora, 2011.
- [39] Site arduino. Produtos Arduino . <http://www.arduino.cc/en/Main/Products>, 2014. [Online; accessed 20-Junho-2015].
- [40] Ariadne Arrais Cruz and Emerson Fausto Lisboa. Webhome–automação residencial utilizando raspberry pi. *Revista Ciência e Tecnologia*, 17(31), 2014.
- [41] Timothy L Warner. *Hacking Raspberry Pi*. Que Publishing, 2013.
- [42] Matt Richardson and Shawn Wallace. Primeiros passos com o raspberry pi. *Primeira Edição*. São Paulo: Novatec Editora, 2013.

Apêndices