

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DAS ACELERAÇÕES NO MOTORISTA EM UM PROTÓTIPO BAJA/SAE

por

Rodrigo Nazarof Saran

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, junho de 2016.



Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia Mecânica

AVALIAÇÃO DAS ACELERAÇÕES NO MOTORISTA EM UM PROTÓTIPO BAJA/SAE

por

Rodrigo Nazarof Saran

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. **Alcy Rodolfo dos Santos Carrara**
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: **Mecânica dos Sólidos**

Orientador: Prof. Leticia Fleck Fadel Miguel

Comissão de Avaliação:

Prof. Edson Hikaro Aseka

Prof. Juan Pablo Raggio Quintas

Prof. Walter Jesus Paucar Casas

Porto Alegre, 6, junho de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço Equipe Tchê de Baja/SAE pela oportunidade de realizar um trabalho utilizando toda a infraestrutura e o protótipo atual da equipe, também agradeço por me ajudarem dirigindo o carro para meus testes.

Agradeço ao meu irmão, Rafael Nazarof Saran por me ajudar a adquirir e montar o sistema de aquisição de dados.

Agradeço a Fueltech por me ceder um datalogger para meu experimento.

Agradeço ao Carlos Alberto Kern Thomas por me auxiliar na calibração do equipamento.

Saran, R. N. **Avaliação das acelerações no motorista em um protótipo Baja/SAE**. 2016. 17 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

RESUMO

O projeto Baja/SAE tem como objetivo desenvolver um veículo de competição fora de estrada monoposto para colocar em prática o conhecimento e capacidade dos alunos para serem melhores engenheiros. Um ponto importante dessa competição é o conforto do piloto. Para isso, necessita-se conhecer as acelerações que são impostas ao veículo e motorista. Este trabalho visa desenvolver um meio para conseguir essas acelerações pelo uso de uma aquisição de dados e avaliá-las. Acelerômetros ligados a uma aquisição de dados que foram colocados em determinados pontos do veículo. Com isso foram feitos testes com diferentes motoristas para levantar os dados, e então, cálculos e análise puderam ser feitas. Efeitos semelhantes foram encontrados que comprovam a metodologia e o equipamento usados.

PALAVRAS-CHAVE: acelerômetros no Baja/SAE, instrumentação mecânica, suspensão veicular, conforto.

Saran, R. N. **Evaluation of accelerations in the driver of a Baja/SAE prototype**. 2016. 17 folhas. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ABSTRACT

The Baja/SAE Project has as goal to develop an off-road competition single-seated vehicle to apply in practice the knowledge and capacity of students to be better engineers. A point of importance in this competition is pilot comfort. To that end, it is required to know the accelerations that are imposed to vehicle and driver. This work aims to develop the means to get this acceleration through the use of a data acquisition and evaluate them. Accelerometers connected to a data acquisition which were placed at determined points in the vehicle. With that, test were made with different drivers to get data, and then, calculations and analysis could be made. Similar effects were found which validate the methodology and equipment used.

KEYWORDS: accelerometer in Baja/SAE, mechanical instrumentation, vehicular suspension, comfort.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	1
2.1 Objetivos geral	1
2.2 Objetivos específicos	2
2.3 Justificativa do tema	2
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
4. NORMA ISO	3
5. METODOLOGIA	6
6. CALIBRAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO	6
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
7.1 Análise segundo a norma ISO 2631-1	9
7.2 Transmissibilidades	13
8. CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	15
APÊNDICES	16

1. INTRODUÇÃO

As vibrações e choques mecânicos são riscos encontrados em várias áreas da atividade humana, da indústria até nos meios de transporte. Estas vibrações podem causar desde um desconforto até danos ao corpo humano.

Conforme uma portaria do Ministério da Saúde (portaria 1339, 1999), vibrações são um agente de risco ocupacional e estão relacionadas a vários males, mas em geral, as normas não contêm limites de exposição, entretanto a ISO 2631-1 contém métodos de avaliação. De acordo com a referida norma, as vibrações são classificadas como vibrações de mãos e braços, como as causadas por ferramentas elétricas, e vibrações de corpo inteiro, causadas por atividades industriais e meios de transportes. Sendo estas últimas o escopo deste trabalho de conclusão de curso.

O projeto Baja/SAE chegou ao Brasil em 1995 e possibilita ao aluno a chance de aplicar os conhecimentos adquiridos em aula, assim melhorando a formação do estudante. A competição, além de avaliar o desempenho esportivo do protótipo, está dando uma importância cada vez maior ao conforto do piloto.

Com esse intuito, é proposta a criação de uma instrumentação para avaliar se o protótipo está dentro dos padrões da indústria por meio de acelerômetros. De posse desses dados, será proposta uma solução caso esteja fora desses padrões.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral é criar um sistema de aquisição de dados que consiga avaliar as vibrações que são impostas ao motorista de um Baja/SAE. Essas vibrações são geradas pela pista que o veículo está rodando e transmitidas pelo pneu, suspensão, chassi e banco até o motorista. A Figura 1 mostra o protótipo de Baja ensaiado.



Figura 1- Protótipo Baja/SAE

2.2 Objetivos Específicos

São os seguintes:

- Projetar um sistema de aquisição de dados ligado ao banco do motorista, ao chassi e às suspensões dianteira e traseira do protótipo para captar as vibrações e validá-lo através de calibração para obter as acelerações no motorista pela pista;
- Adquirir dados experimentais do carro em movimento e avaliar as vibrações geradas;

2.3 Justificativa do tema

O conforto de um veículo é um item de extrema importância, seja para o transporte de pessoas ou trabalho. A competição de Baja/SAE avalia o conforto dos protótipos na prova de conforto, na qual um juiz dirige o veículo pela pista e após isso dá uma nota levando em conta a manobrabilidade e o conforto, este último vem tendo mais importância ultimamente.

Com o uso de uma aquisição de dados pode-se obter as vibrações que são impostas ao carro e avaliar se elas estão em um nível aceitável. Com o desenvolvimento de um sistema e uma metodologia tem-se um procedimento que a Equipe Tchê poderá usar no projeto de seus protótipos e aumentar o grau técnico do projeto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Uma vibração é comumente descrita pelo histórico da aceleração de um corpo. De acordo com Miguel (2006), uma vibração é qualquer movimento que se repita depois de um intervalo de tempo. Quantas vezes ela se repete em um segundo é chamado de frequência, tendo a unidade de Hz.

As vibrações são apresentadas, normalmente, com relações entre amplitude x tempo e amplitude x frequência, este último sendo chamado de espectro de frequência. Para a amplitude o parâmetro que tem mais importância é o valor chamado rms, *root mean square*, que segundo Taylor (2003) é o verdadeiro potencial energético embaixo da curva, como na Figura 2. É calculado pela equação (3.1) a seguir.

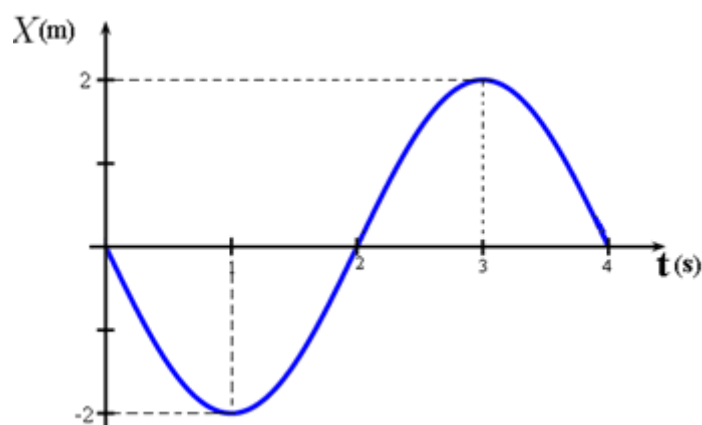


Figura 2 – Movimento harmônico.

$$a_{rms} = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2 \right)^{0,5} \quad (3.1)$$

onde a_i é a aceleração medida, a_{rms} é a aceleração média quadrática e N é o número de medições.

Transmissibilidade é quanto é passado de vibração da base para o sistema, também chamado de fator de amplificação. Segue um comportamento como visto na Figura 3 e a equação que representa o fenômeno é a (3.2).

$$Transmissibilidade = \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \quad (3.2)$$

onde $r = \frac{\omega}{\omega_n}$ e, ω é a frequência imposta, ω_n é a frequência natural e ζ é a razão de amortecimento.

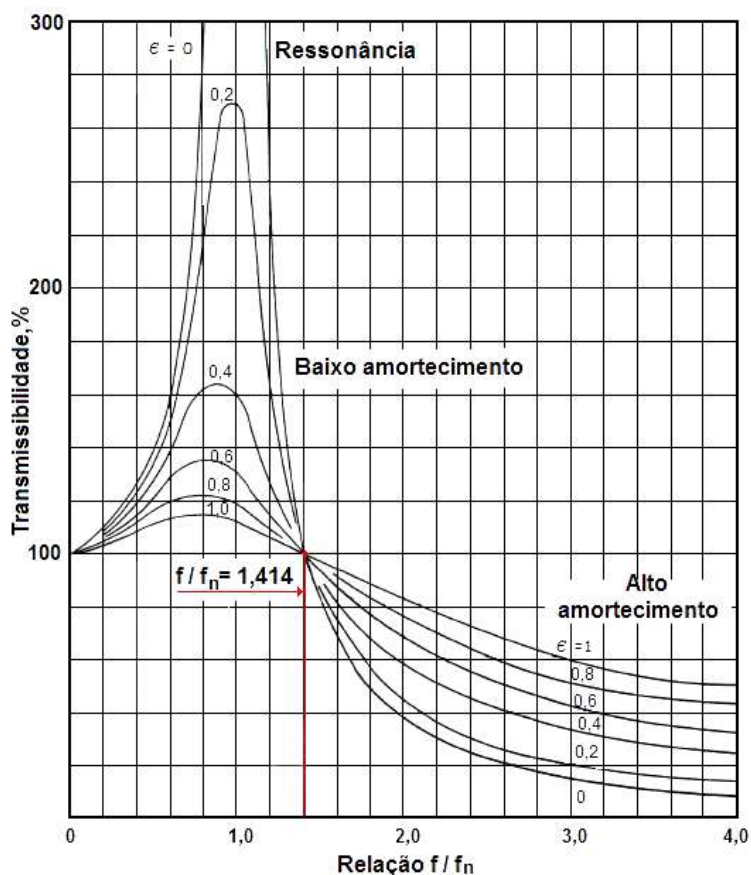


Figura 3 – Transmissibilidade.

4. NORMA ISO

A ISO 2631-1 define métodos de quantificação de vibrações de corpo inteiro como conforto humano e saúde.

Os parâmetros que a ISO 2631-1 definiu são:

- Sistema de coordenadas de medição de acordo com a Figura 4;
- Os sensores devem ser posicionados o mais perto da interface corpo humano/fonte de vibração possível;
- O parâmetro de avaliação da magnitude da excitação é a aceleração rms a_i , em m/s^2 ;
- A aceleração rms ponderada é calculada conforme equação (4.1).

$$a_{rms} = \left(\frac{1}{T} \int a_w^2(t) dt \right)^{0,5} \quad (4.1)$$

onde a_w é a aceleração ponderada, em m/s^2 , a_{rms} é a aceleração rms ponderada, em m/s^2 .

- As medições podem ser feitas em um terço de oitava;
- A VCI é indicada para quantificar a aceleração ponderada de acordo com a equação (4.2) e Tabela 1;
- A aplicação é levada em conta através de uma ponderação conforme Tabela 2;

$$a_w = \left(\sum (W_i a_i)^2 \right)^{0,5} \quad (4.2)$$

onde a_w é a aceleração ponderada, em m/s^2 , a_i é a aceleração medida, em m/s^2 , W_i é o fator de ponderação, retirado da Tabela 1.

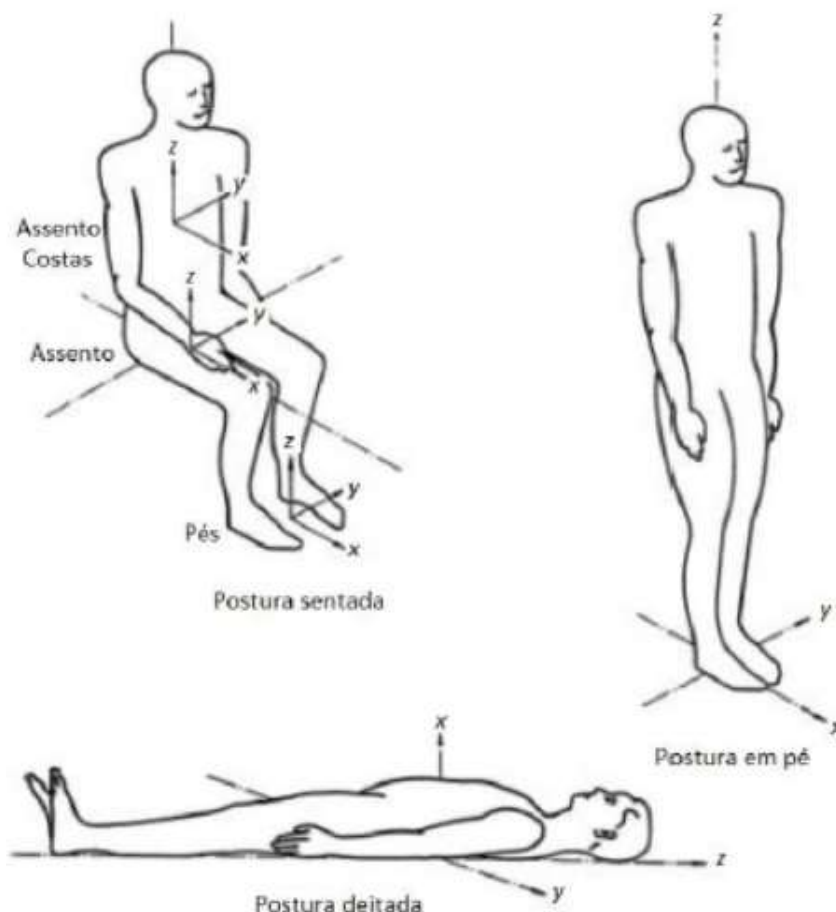


Figura 4 – Sistema de coordenadas de medição. Fonte ISO 2631-1.

Tabela 1 – Valores de ponderações por frequência. Fonte ISO 2631-1.

Frequência f (hz)	W_k	W_d
1	0,482	1,011
1,25	0,484	1,008
1,6	0,494	0,968
2	0,531	0,890
2,5	0,631	0,776
3,15	0,804	0,642
4	0,967	0,512
5	1,039	0,409
6,3	1,054	0,323
8	1,036	0,253
10	0,988	0,212
12,5	0,902	0,161
16	0,768	0,125
20	0,636	0,100
25	0,513	0,080
31,5	0,405	0,0632
40	0,314	0,0494
50	0,246	0,0388
63	0,186	0,0295
80	0,132	0,0211

Tabela 2 – Ponderação da medição. Fonte ISO 2631-1.

<i>Fator de compensação</i>	<i>Efeito na(o)</i>					
	<i>Saúde</i>		<i>Conforto</i>		<i>Percepção (fadiga)</i>	
	<i>eixos</i>	<i>postura</i>	<i>eixos</i>	<i>postura</i>	<i>eixos</i>	<i>postura</i>
W_k	z	sentado	z	sentado	z	sentado
W_d	x e y	sentado	x e y	em pé	x e y	em pé
			x e y	sentado	x e y	sentado
			x e y	em pé	x e y	em pé

5. METODOLOGIA

O protótipo de Baja/SAE foi instrumentado com acelerômetros tri-axiais MMA7361L do tipo MEMS da fabricante Freescale. Especificações técnicas dos acelerômetros na Tabela A1.

Foram usados quatro e um foi colocado no banco do piloto, dentro de uma proteção metálica, um foi colocado no chassi e dois na suspensão do veículo, um na suspensão dianteira e outro na traseira. Isso possibilitou obter as transmissibilidades da suspensão para o banco e

do banco para o piloto. A aquisição de dados foi feita por uma PRO24 da empresa Fueltech, este produto é muito usado em competições de automobilismo pelo país. Especificações técnicas da aquisição de dados na Tabela A2.

Os acelerômetros foram fixados em seus devidos lugares com o uso de adesivo do tipo “poxipol”. Isso gerou uma boa forma de firmar o instrumento de medição. A escolha dos locais de fixação foi feita levando-se em conta que a posição deveria ser o mais perto de onde acontece o fenômeno, a facilidade de colocação e que não deveria ter contado com componentes móveis ou o piloto.

O teste foi realizado com 3 diferentes condutores de diferentes pesos e alturas (conforme Tabela 3) a fim de ter uma gama variada de dados para análise. O carro foi avaliado no Campus do Vale em um trajeto de terra e com obstáculos variados a fim de chegar o mais próximo do percurso dos campeonatos.

Os dados dos motoristas estão apresentados na Tabela 3. As posições dos acelerômetros estão na Figura A5.

Tabela 3 – Características dos motoristas.

	ALTURA (M)	PESO (KG)
MOTORISTA 1	1,80	120
MOTORISTA 2	1,70	65
MOTORISTA 3	1,90	75

6. CALIBRAÇÃO E INSTRUMENTAÇÃO

Com a instrumentação pronta, procedeu-se com o levantamento das curvas de calibração. Esta etapa foi feita no laboratório do GMAp e com a uso de um acelerômetro conhecido aplicou-se uma vibração com os acelerômetros presos ao *shaker* e então foi medido a aceleração. A Figura 5 ilustra esta etapa.

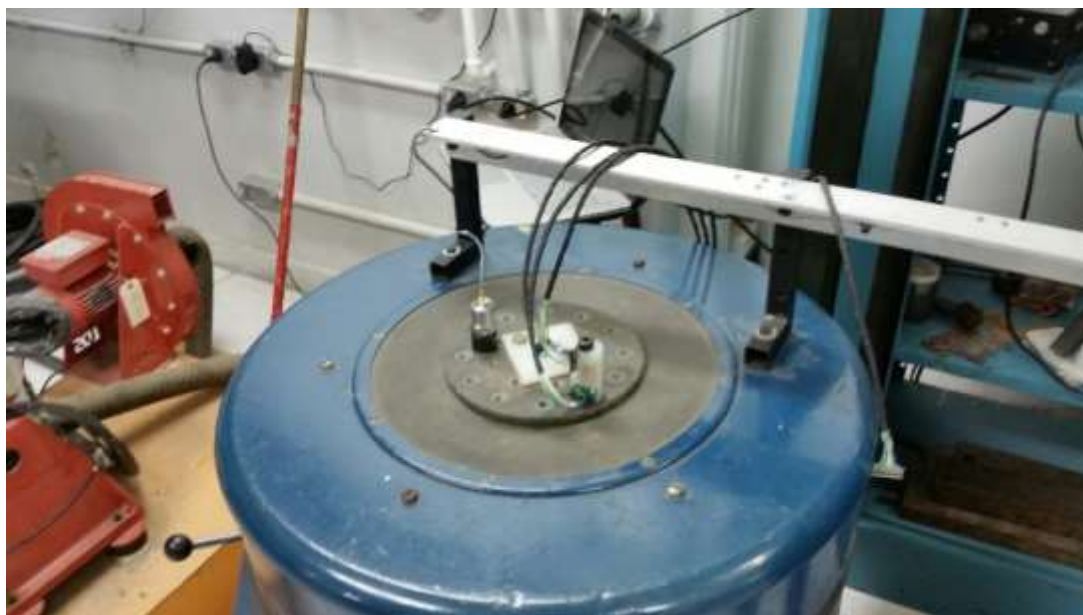


Figura 5 – Calibração da instrumentação

A calibração foi feita fixando uma aceleração no shaker, lendo-se o valor medido pelo acelerômetro, em m/s^2 , e vendo-se quantos miliVolts essa aceleração correspondia no

datalogger. Foram feitas duas vezes, por eixo e por acelerômetros, para conseguir os pontos correspondentes para 0g e 1g e então inseridas no datalogger, Figura 6.

Com as leituras feitas no equipamento do laboratório e na aquisição de dados, foram feitas as curvas de calibração. Nas Figuras A1 a A4 do Apêndice são mostradas as curvas de calibração.

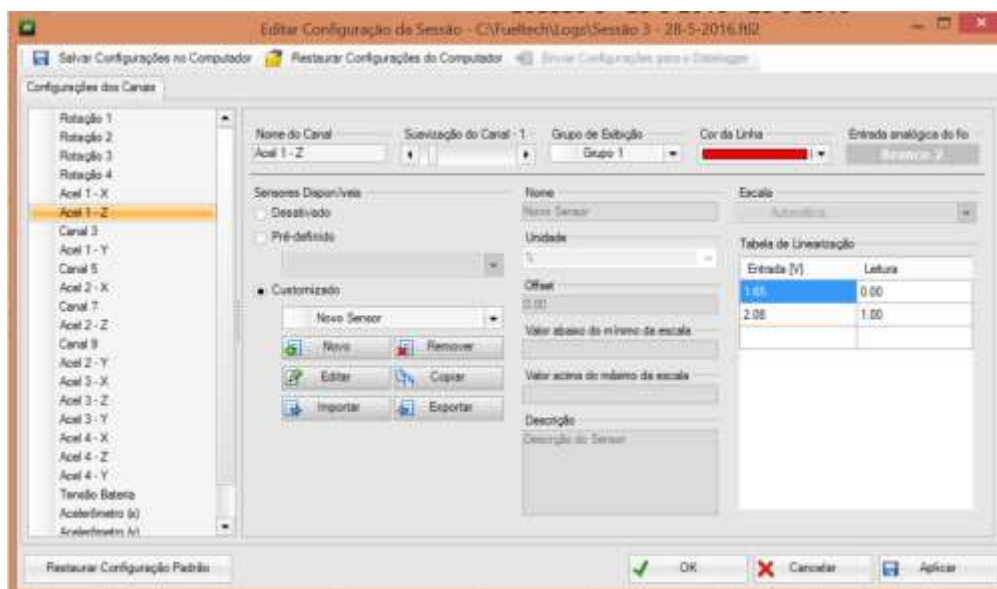


Figura 6 – Entrada de dados da calibração

Os equipamentos usados na calibração foram um *skaker* Thüringer Industriewerk, um osciloscópio Tektronix TDS 360, um gerador de função Dawaer FG-200D e um acelerômetro Brüel & Kjaer 4338.

A aquisição de dados consiste de um *datalogger* Fueltech PRO24 e 4 acelerômetros tri-axiais Freescale MMA7361L do tipo MEMS. As Figuras 7 a 10 ilustram os equipamentos.

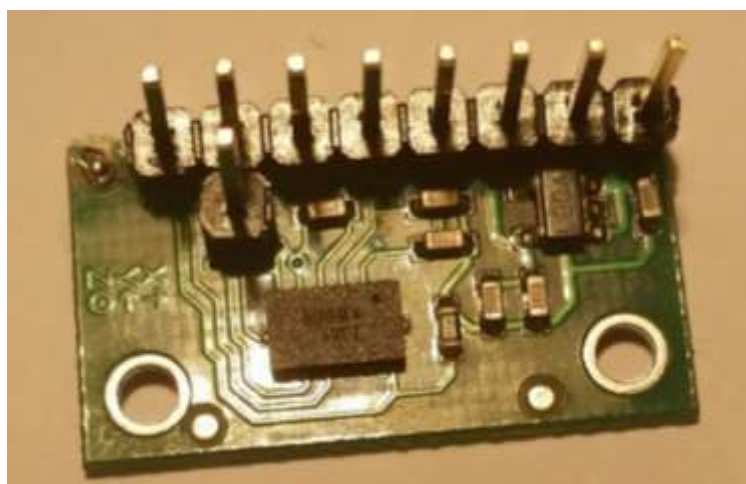


Figura 7 – Acelerômetro.



Figura 8 – Datalogger. Fonte Fueltech.



Figura 9 – Proteção do acelerômetro do banco.

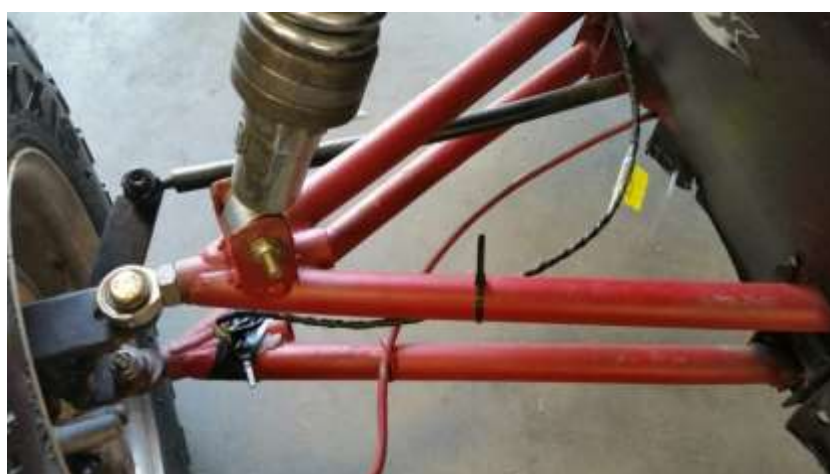


Figura 10 – Acelerômetro na suspensão dianteira.

A aquisição de dados entrega como informação um gráfico aceleração por tempo, Figura A6, e também uma tabela que é exportada para o programa Microsoft Excel contendo as informações de aceleração, tempo e período de cada impulso, que invertendo tem-se a frequência de cada impulso.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes foram realizados no Campus do Vale da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, ao lado do Colégio Aplicação. Foi escolhido um terreno vazio e seguro composto de terreno do tipo “chão batido” que tinha obstáculos necessários para a medição, esse terreno é o local usado para testes da equipe. As análises a seguir foram feitas levando-se em consideração o eixo z, que é o eixo dominante, segundo a norma ISO 2631-1 (1997).

7.1 Análise segundo a norma ISO 2631-1

O parâmetro que a norma usa para quantificar a vibração que o motorista está exposto é a aceleração ponderada a_w . Os dados são analisados no domínio de frequência e a amplitude da aceleração utilizada para análise é a aceleração rms do sinal e quando multiplicada por um fator de ponderação, conforme manda a norma, tem-se a aceleração ponderada.

As acelerações ponderadas foram calculadas somando-se todas as acelerações rms da frequência e dividindo pelo número de repetições dessa frequência. Então, com esse valor, multiplicou-se pelo fator de ponderação W_k , retirado da Tabela 1, e elevou-se ao quadrado para então, retirar a raiz quadrada e dividir-se pelo número total de medições (10266). A ponderação da postura do indivíduo que sobre a vibração não foi levada em conta porque a norma considera a postura sentada com ponderação igual a 1. As acelerações são medidas e calculadas no eixo z. A Tabela 4 mostra os cálculos para a aceleração do motorista 1.

Tabela 4 – Cálculos das acelerações

Frequência f (Hz)	W_k	N(repetições)	acel rms 1	acel pond 1
1	0,482	851	1,5187817	0,092165
1,6	0,494	415	1,5927834	0,05066257
2,5	0,631	153	1,6158425	0,02455373
4	0,967	64	1,6025441	0,01548193
5	1,039	2606	1,568937	0,64923168
8	1,036	536	1,5757758	0,13431117
10	0,886	2046	1,5692116	0,4348116
12,5	0,902	855	1,5009979	0,16925113
16	0,768	822	1,6067568	0,1587567
20	0,636	1266	1,5708761	0,19354119
25	0,513	271	1,5393683	0,03209005
31,5	0,405	271	1,5621503	0,02608968
40	0,314	110	1,5865091	0,00846849

Como são 4 acelerômetros e 3 motoristas tem-se 12 medições feitas. As Figuras 11 a 14 mostram as acelerações ponderadas nos diferentes pontos medidos.

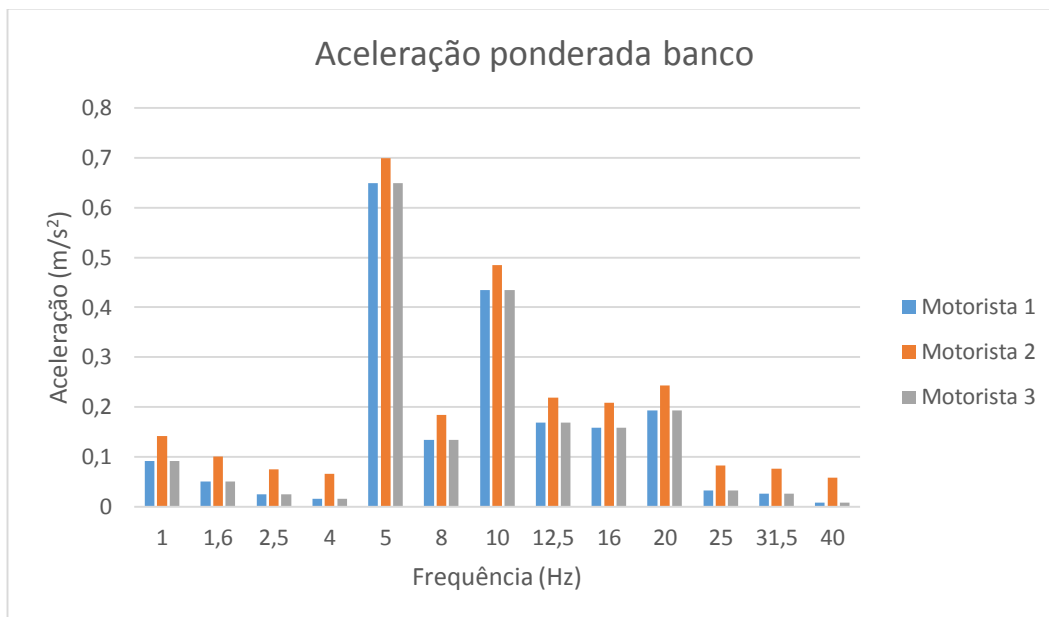


Figura 11 – Aceleração ponderada banco.

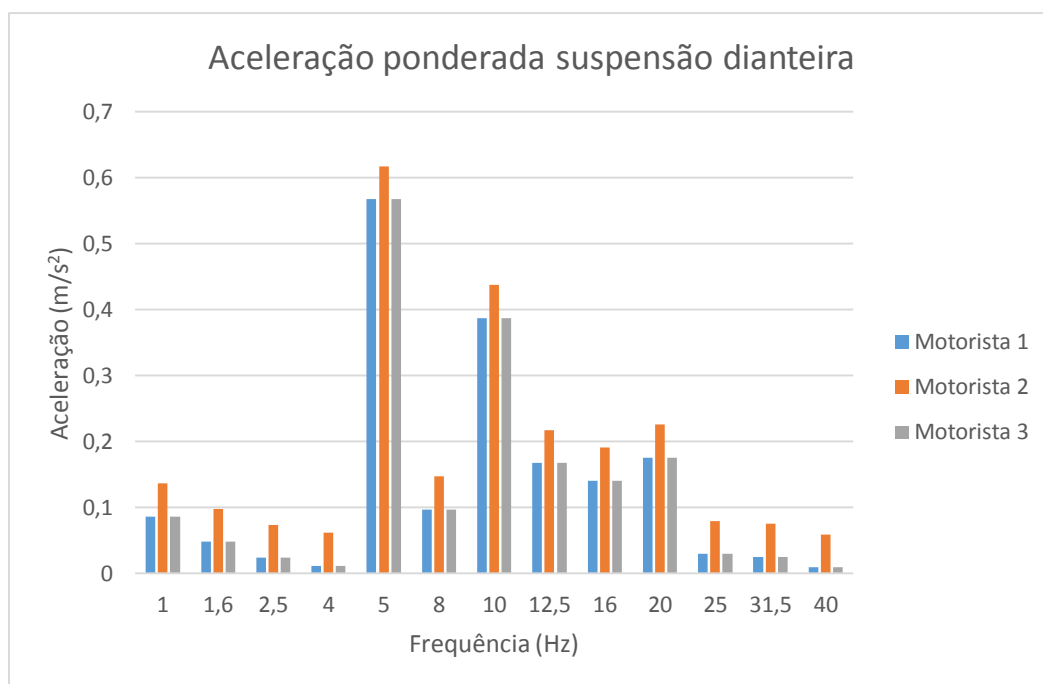


Figura 12 – Aceleração ponderada suspensão dianteira.

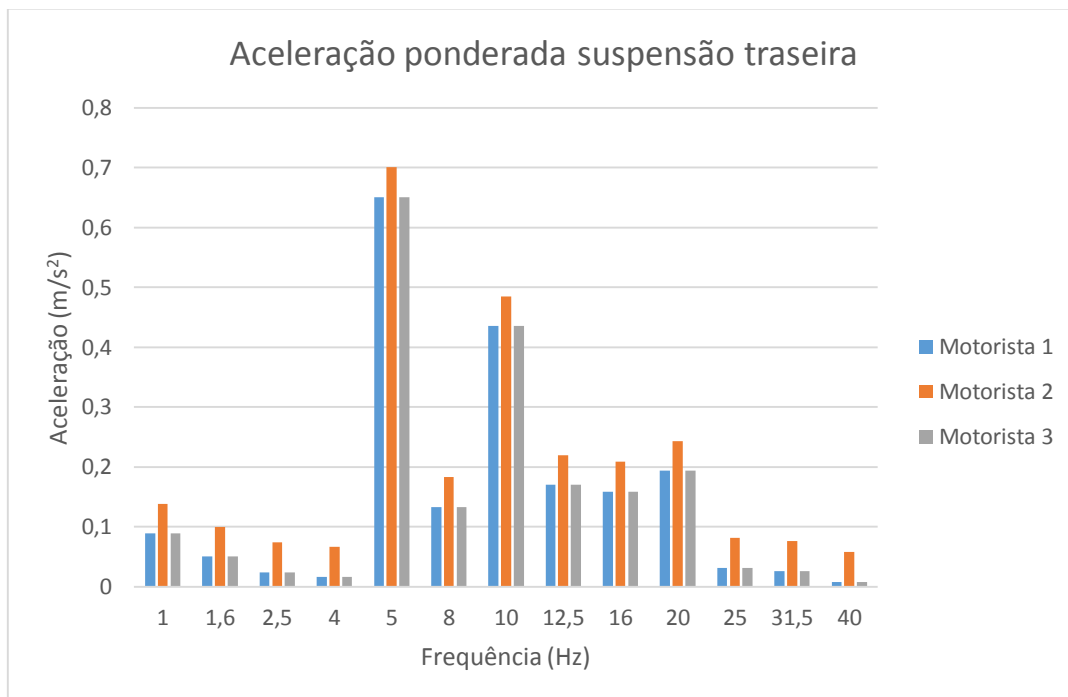


Figura 13 – Aceleração ponderada suspensão traseira.

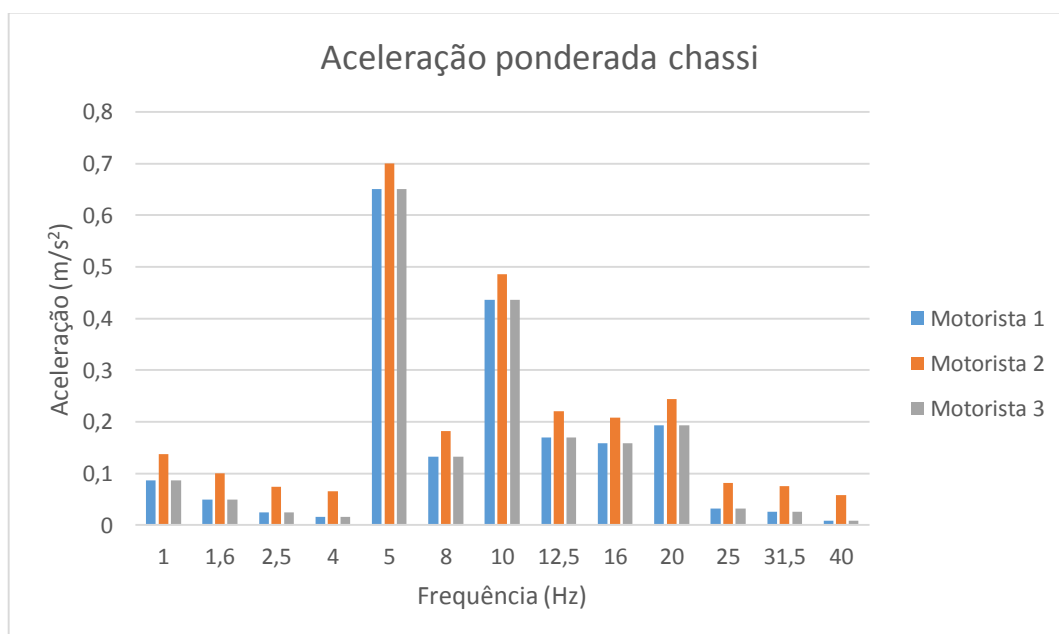


Figura 14 – Aceleração ponderada chassi.

Como se pode ver o protótipo Baja/SAE está sob a ação de pequenas acelerações. Pelos gráficos pode-se perceber pouca diferença entre os motoristas, exceto na frequência de 2,5 Hz, 12,5 Hz e de 25 Hz até 40 Hz. Nessas frequências a diferença entre as massas dos motoristas se mostrou significativa.

Conforme se pode ver na Tabela 5, a norma fornece faixas para a classificação das acelerações com relação ao conforto.

Tabela 5 – Classificações das acelerações quanto ao conforto

Menor que 0,315 m/s ²	Não desconfortável
De 0,315 m/s ² até 0,63 m/s ²	Um pouco desconfortável
De 0,5 m/s ² até 1 m/s ²	Razoavelmente desconfortável
De 0,8 m/s ² até 1,6 m/s ²	Desconfortável
De 1,25 m/s ² até 2,5 m/s ²	Muito desconfortável
Maior que 2,5 m/s ²	Extremamente desconfortável

As acelerações que chegam ao motorista em sua maioria são menores que 0,315 m/s² e, portanto, não são desconfortáveis, são acelerações que se encontram nas frequências de 1 Hz, 1,6 Hz, 4 Hz, 8 Hz, 16 Hz, 20 Hz, 25 Hz, 31,5 Hz e 40 Hz. Na faixa de frequência de 10 Hz a aceleração ficou classificada como um pouco desconfortável. A faixa de frequência 2,5 Hz teve grande variação entre os motoristas, sendo o motorista mais pesado o que ficou sujeito a acelerações baixas e classificadas como não desconfortáveis e os dois motoristas mais leves ficaram sujeitos a acelerações maiores, então elas caíram na classificação de um pouco desconfortável. A faixa de frequência de 5 Hz apresentou as acelerações mais elevadas ficando na classificação de razoavelmente desconfortável. Curvas de 2,5h e 4h foram retiradas da ISO 2631 (1978).

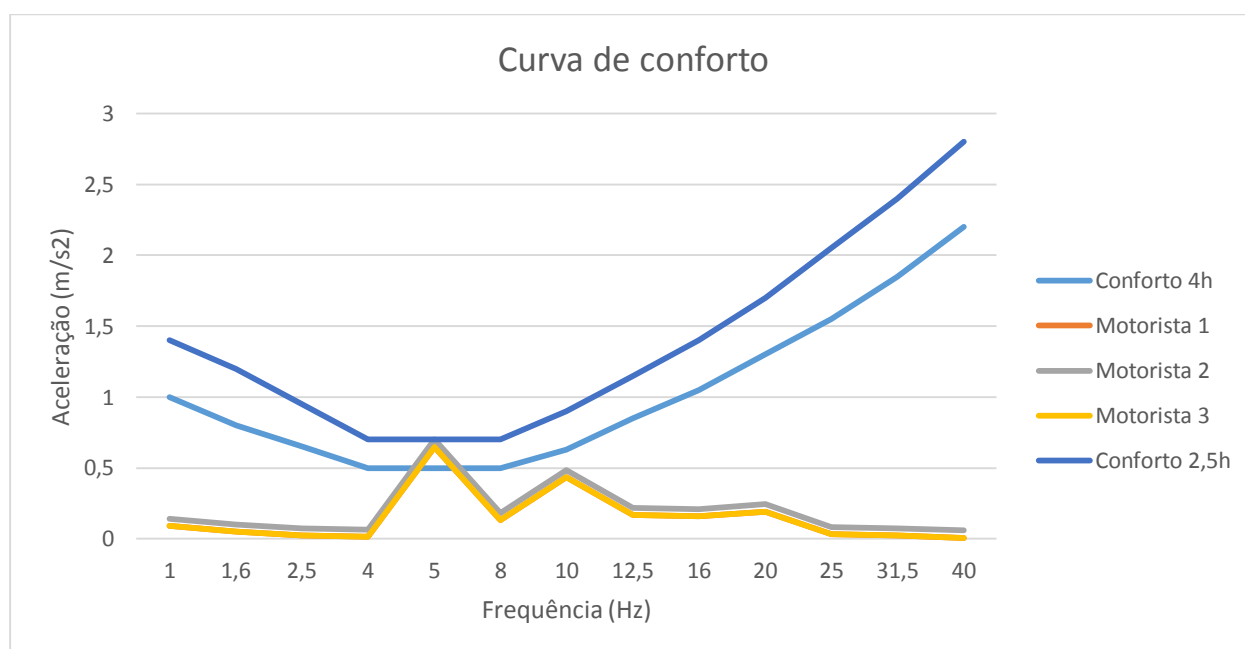


Figura 15 – Curvas de conforto.

A competição do baja requer um enduro de 2 baterias de 2 horas na prova nacional e 1 bateria de 4 horas na competição regional. No caso mais exigente, a prova regional, o protótipo apresenta resultado que estão acima do limite com relação ao conforto em 5 Hz de acordo com a norma, conforme indica a Figura 15.

7.2 Transmissibilidade

A transmissibilidade indica quanto é passado, de excitação, da base para o resto do sistema. Por isso é importante saber a capacidade de se absorver vibrações de um estágio para o outro. As Figuras 16 a 18 mostram a transmissibilidade entre os diferentes pontos medidos.

A transmissibilidade foi calculada dividindo-se a aceleração rms do acelerômetro do banco pela aceleração do chassi, e a aceleração do chassi pela da suspensão. A Tabela A3 mostra os cálculos de transmissibilidade banco chassi do motorista 1.

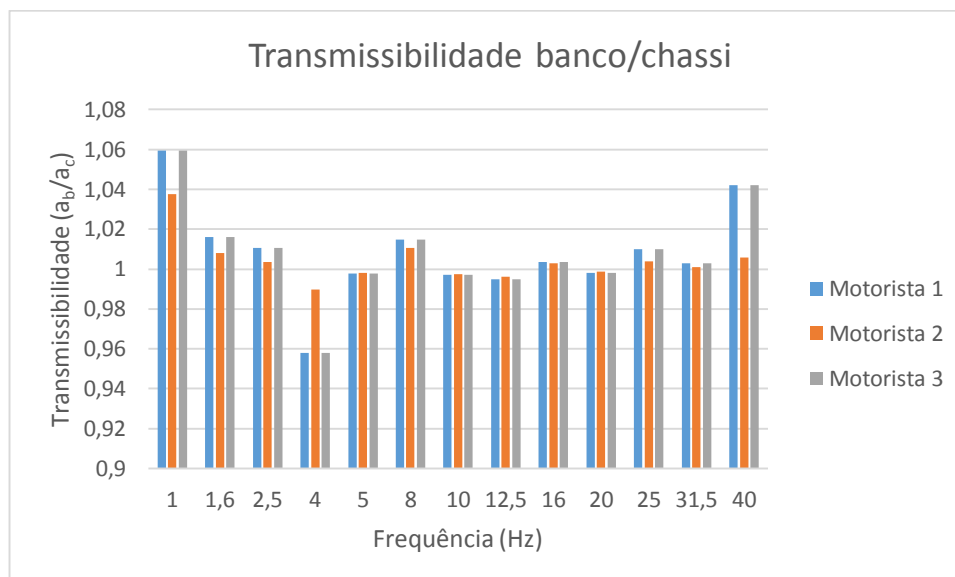


Figura 16 – Transmissibilidade chassi/banco.

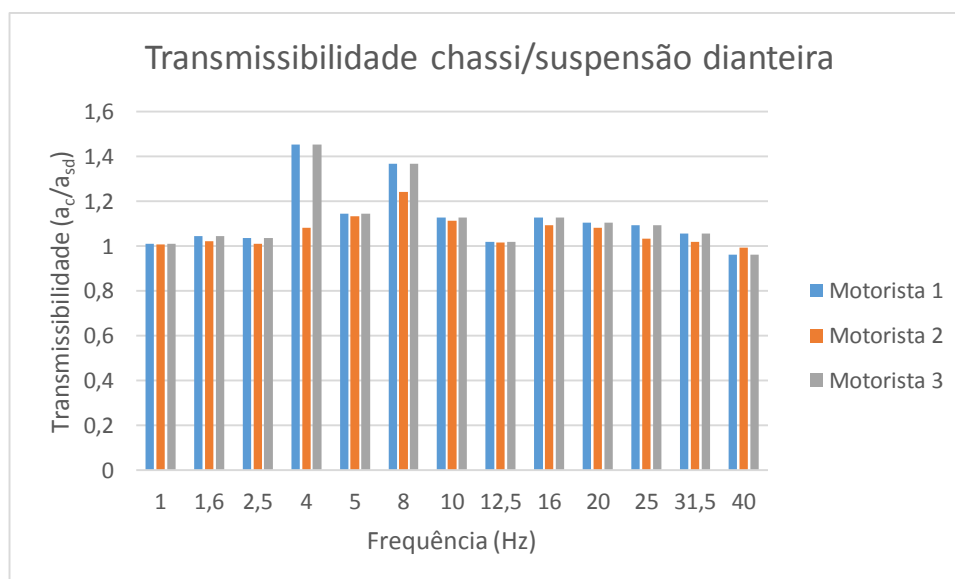


Figura 17 – Transmissibilidade suspensão dianteira/chassi.

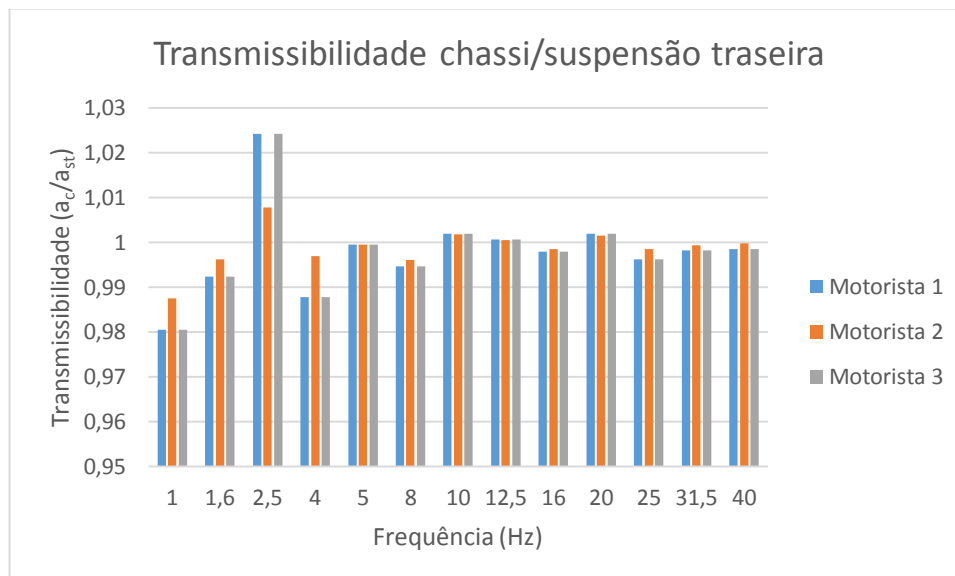


Figura 18 – Transmissibilidade suspensão traseira/chassi.

A transmissibilidade em todos os gráficos se mostrou perto de 1, mas para o banco, tanto no começo do espectro de medição como no final houve amplificação da excitação sobre o motorista.

Este fenômeno de amplificação foi constatado em Zanon (2014) e Minozzo (2012) que tiveram efeito igual no seu experimento em um ônibus urbano, onde em baixas frequências houve amplificação das excitações.

Segundo Rao (2008), a amplificação da amplitude transmitida se dá por proximidade das frequências de excitação e ressonância do sistema. Isso indica que a vibração do conjunto motorista e banco está próxima das faixas, a 1 Hz tem-se 6% de aumento de amplitude e a 40Hz tem-se 4% de aumento de amplitude.

8. CONCLUSÕES

Uma metodologia pôde ser obtida para avaliação das acelerações com a conclusão desse trabalho.

Com os resultados desse trabalho, encontram-se que as acelerações a que são submetidos o protótipo e piloto são baixas, até $0,7 \text{ m/s}^2$, e a transmissibilidade entre banco e chassi ficou dentro do esperado, levando em conta que é um banco de competição e sua principal função é segurar o piloto no lugar. A transmissibilidade entre chassi e suspensão ficou acima do esperado, ficando em 1 e 1,1 na média.

Com isso, pode-se dizer que a suspensão do Baja/SAE poderia ser repensada em termos de seus coeficientes de amortecimento e rigidez de mola para aumentar o conforto do motorista.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ISO 2631-1, **Mechanical vibration and shock – evaluation of human to whole-body vibration – Part 1**, International Standart Organization, 1997.

ISO 2631, **Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration**, International Standart Organization, 1978.

Miguel, L. F. F., **Introdução ao estudo de vibrações – Notas de aula**. 1ª edição, Porto Alegre, 2006

Minozzo, F., **Avaliação vibracional de uma poltrona de ônibus urbano**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade de Caxias do Sul, 2012.

Zanol, E. J., **Avaliação dos níveis de vibração de corpo inteiro sofrido por motoristas de ônibus urbanos em diferentes tipos de pistas**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

Rao, S., **Vibrações Mecânicas**. 4ª edição, São Paulo: Prentice Hall, 2008.

Taylor, J., **The Vibration Analysis Handbook**. 2ª edição, Londres: Vibration Consultants, 2003.

Calibração feita no eixo z.

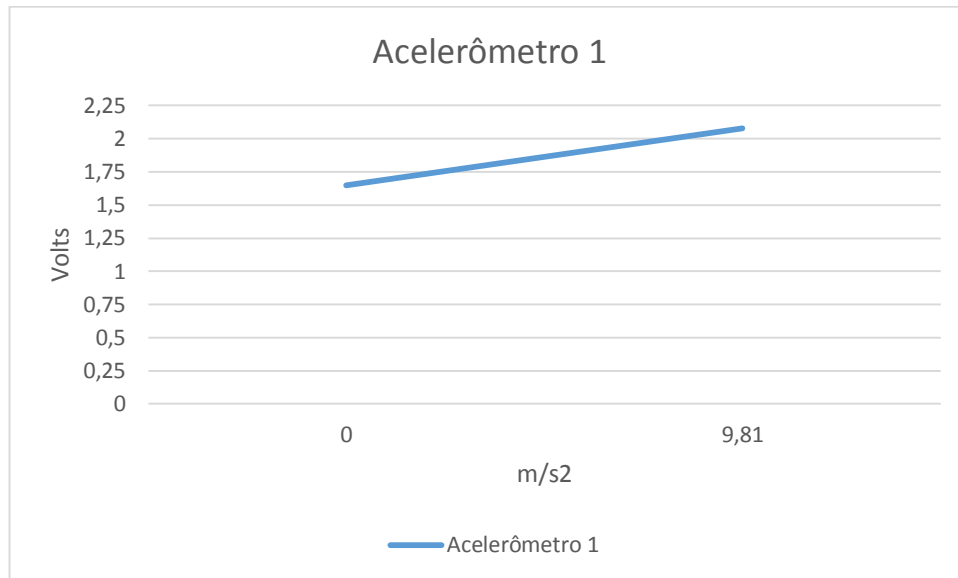


Figura A1 – Curva de calibração do acelerômetro do banco.

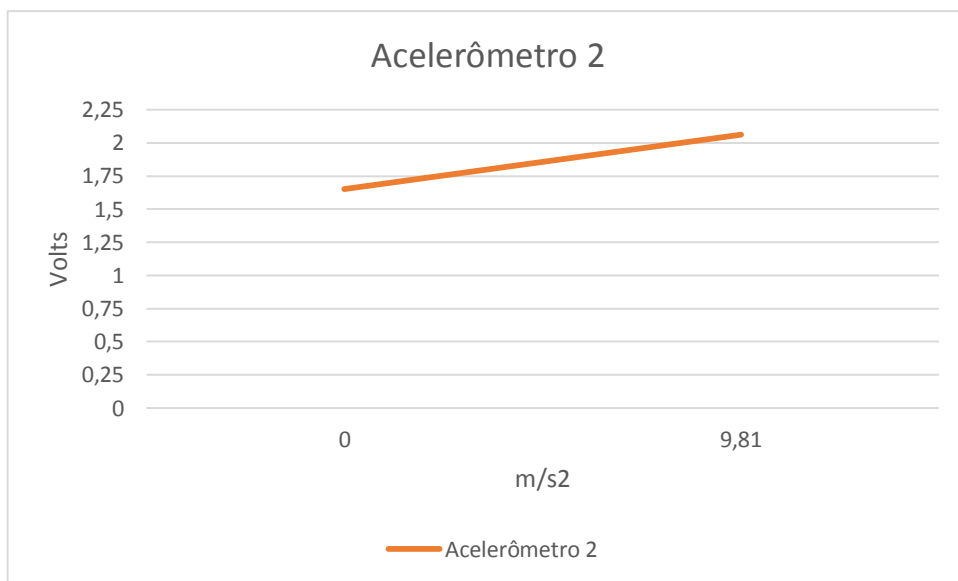


Figura A2 – Curva de calibração do acelerômetro da suspensão dianteira.

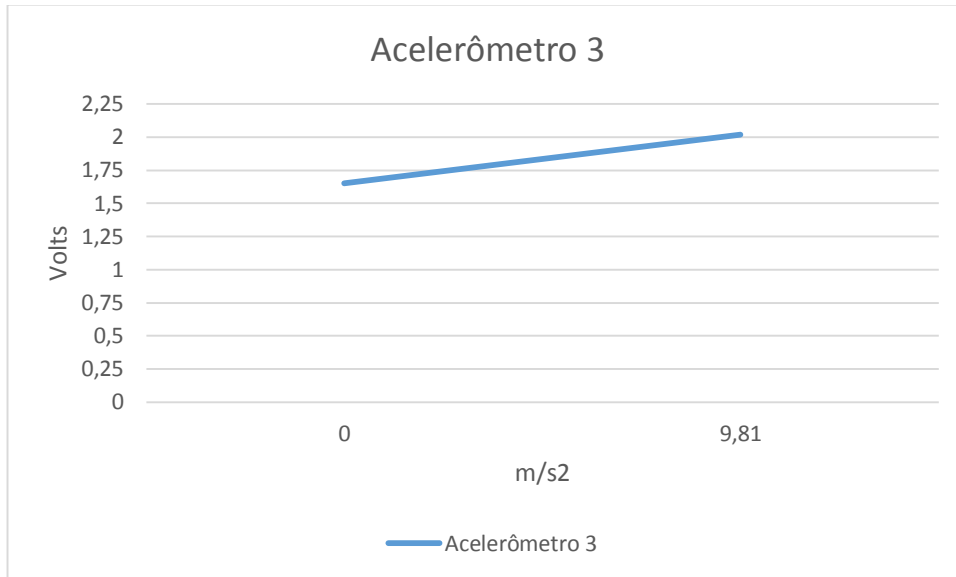


Figura A3 – Curva de calibração do acelerômetro da suspensão traseira.

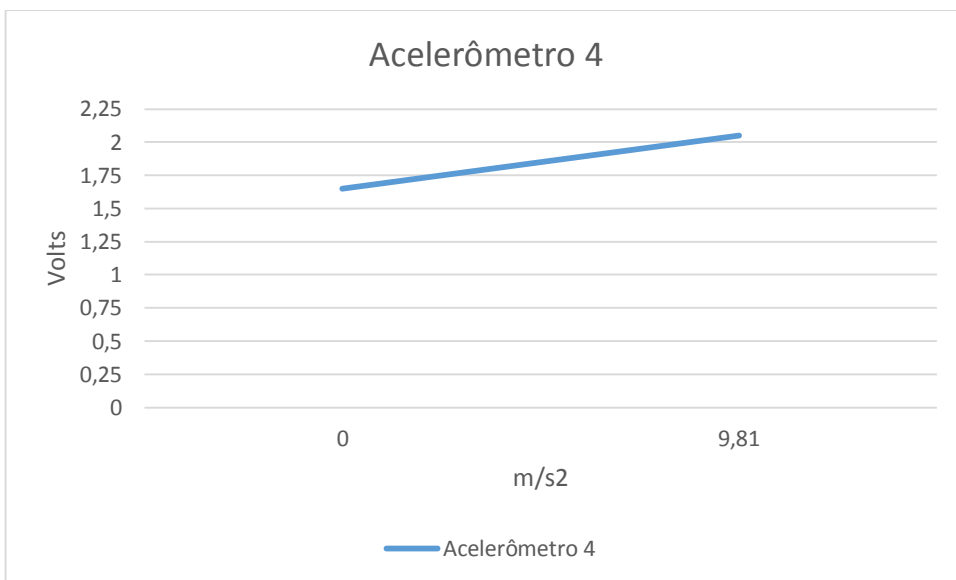


Figura A4 – Curva de calibração do acelerômetro do chassi.



Figura A5 – Posição dos acelerômetros indicadas pelas setas.

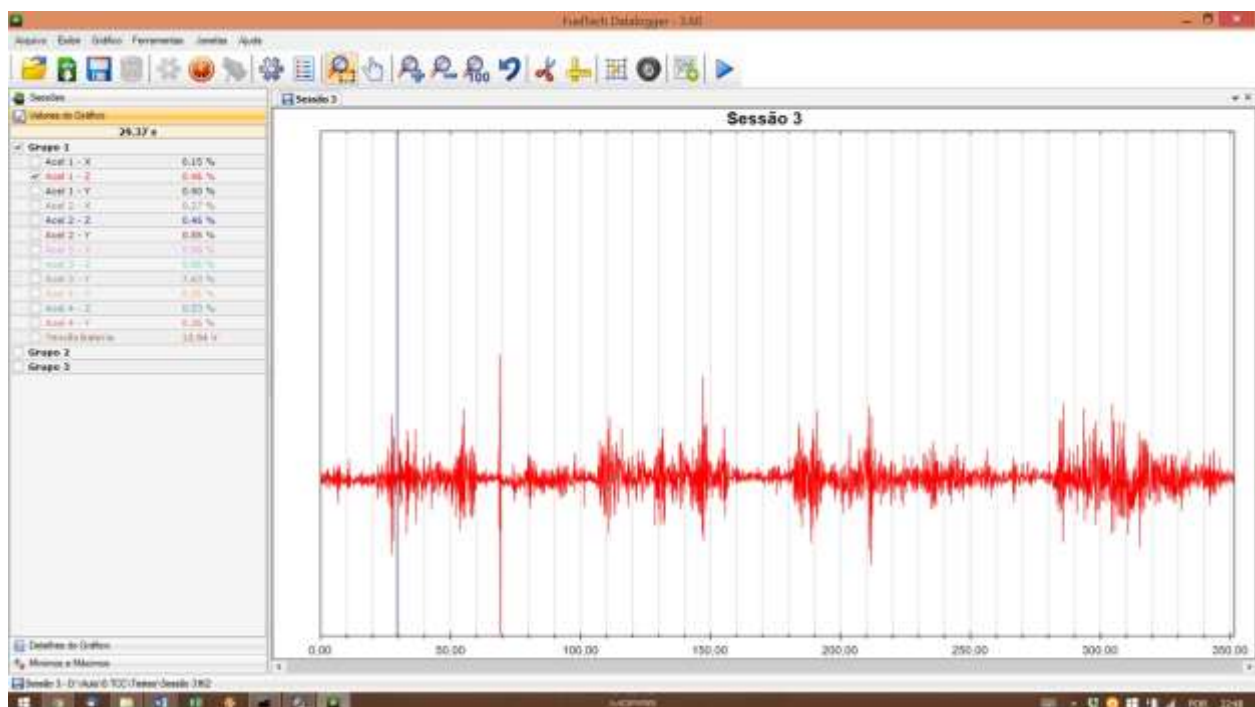


Figura A6 – Gráfico aceleração por tempo.

Tabela A1 – Especificações do acelerômetro

Dimensões	3mm x 5 mm x 1 mm
Consumo	400 μ A
Tensão de operação	2,2 – 3,6 V
Sensibilidade	800 mV @1,5g / 206 mV @6g
Resposta	300 Hz
Temperatura de operação	-40 °C a 85 °C
Frequência de ressonância	3,4 kHz

Tabela A2 – Especificações da aquisição de dados

Dimensões	90 mm x 48 mm x 32 mm
Número de canais	16
Tensão do canal	0-5 V

Tabela A3 – Cálculos de transmissibilidade

Frequência (Hz)	Aceleração banco (m/s^2)	Aceleração banco (m/s^2)	Transmissibilidade
1	1,4901611	1,4756037	1,059379
1,6	1,5862317	1,5802117	1,015975
2,5	1,5881881	1,607311	1,010644
4	1,6475137	1,6374653	0,957802
5	1,5709753	1,5705923	0,997893
8	1,5685205	1,5643255	1,014693
10	1,5699846	1,5715065	0,997082
12,5	1,504284	1,5048157	0,994932
16	1,6054065	1,6038052	1,003684
20	1,5707786	1,5722583	0,998242
25	1,5345967	1,5317473	1,009975
31,5	1,5614215	1,559999	1,00276
40	1,5552148	1,554048	1,042213

