

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

WILLIAN FAVERO MENEGATT

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE CADEIRANTES ÀS VIBRAÇÕES MECÂNICAS: UM ESTUDO
COMPARATIVO DE CADEIRAS MANUAIS E MOTORIZADAS EM PAVIMENTOS PÚBLICOS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2018

WILLIAN FAVERO MENEGATT

**AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE CADEIRANTES ÀS VIBRAÇÕES MECÂNICAS:
UM ESTUDO COMPARATIVO DE CADEIRAS MANUAIS E MOTORIZADAS EM
PAVIMENTOS PÚBLICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica da Coordenação de Engenharia Mecânica – COEME – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Giovanni Bratti

PATO BRANCO

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

Avaliação da exposição de cadeirantes às vibrações mecânicas: um estudo comparativo de cadeiras manuais e motorizadas em pavimentos públicos

Willian Favero Menegatt

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 12/11/2018 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Sergio Luiz Ribas Pessa
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

Prof. Dr. Giovanni Bratti
(UTFPR – Departamento de Mecânica)
Orientador

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho às pessoas que possuem qualquer tipo de deficiência física e são vencedoras mesmo diante de suas limitações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus acima de tudo, que me forneceu recursos para estar aqui hoje.

Agradeço à minha sogra Rita Maria Trindade Rebonatto e ao Professor Jean Marc Lafay que foram de grande colaboração no desenvolvimento da pesquisa.

À minha namorada Amanda Rebonatto Oltramari que sempre me motivou e incentivou a dar o meu melhor.

Ao meu Professor e Orientador Giovanni Bratti, o qual sempre esteve ao meu lado durante a pesquisa e foi determinante em todos os caminhos tomados.

Agradeço aos meus colegas da turma de 2014/01 que me ajudaram nessa jornada até aqui.

E ao meu grande amigo Pedro Nunes, que disponibilizou suas cadeiras de rodas e tornou possível a realização deste trabalho.

EPÍGRAFE

"Estar preparado é metade da vitória." (Miguel de Cervantes).

RESUMO

FAVERO MENEGATT, Willian. Avaliação da exposição de cadeirantes às vibrações mecânicas: um estudo comparativo de cadeiras manuais e motorizadas em pavimentos públicos. 2018. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

O objetivo do trabalho é avaliar a exposição de vibração de corpo inteiro em cadeirantes, os quais estão continuamente sob esses efeitos em sua rotina. Este estudo é realizado por intermédio de medições de vibração realizadas em duas cadeiras de rodas, sendo uma manual e outra motorizada. Baseado na rotina de cadeirantes em cidades grandes, avalia-se a predominância em três pavimentos públicos, o asfalto, calçamento de pedras e o calçamento paver. As avaliações foram realizadas de acordo com a norma ISO-2631, onde os limites de níveis de vibração e tempos máximos de exposição foram analisados. O pior caso foi relacionado ao calçamento de pedras e cadeira motorizada com um tempo máximo de exposição de uma hora e trinta minutos. Este trabalho apresenta um enfoque científico e social, pois os experimentos desenvolvidos e seus resultados podem ser utilizados por empresas fabricantes de cadeiras de rodas, o que pode levar melhorias ao transporte de cadeirantes.

Palavras-chave: Vibrações. Cadeirantes. Cadeira de Rodas. Engenharia Mecânica.

ABSTRACT

FAVERO MENEGATT, Willian. Evaluation of the exposure of wheelchair users to mechanical vibrations: a comparative study of manual and motorized wheelchair in public pavements. 2018. 66 f. Monograph – Bachelor in Mechanical Engineering, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2018.

The objective of the study is to evaluate the exposure of whole body vibration in wheelchair users, who are continuously under these effects in their routine. This study is carried out by means of vibration measurements carried out in two wheelchairs, one manual and one motorized. Based on the routine of wheelchairs in large cities, the predominance in three public floors, asphalt, stone pavement and paver pavement is evaluated. The evaluations were performed according to ISO-2631, where the limits of vibration levels and maximum exposure times were analyzed. The worst case was related to stone paving and motorized wheelchair with a maximum exposure time of one hour and thirty minutes. This work presents a scientific and social approach, since the experiments developed and their results can be used by wheelchair manufacturers, which can lead to improvements in wheelchair transportation.

Keywords: Vibrations. Wheelchair users. Wheelchair. Mechanical Engineering.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Trabalhos publicados - Google Acadêmico.....	15
Figura 2: a) Asfalto b) Calçamento Paver.....	18
Figura 3: Calçamento de pedras irregulares.....	18
Figura 4: Frequências de ressonâncias nas várias regiões do corpo humano.....	20
Figura 5: Sistemas de eixos espaciais corporais.....	21
Figura 6: Esquema de medição de vibrações.....	23
Figura 7: Transformada Rápida de Fourier.....	25
Figura 8: Taxas de amostragem.....	26
Figura 9: Sequência de dados periódicos.....	27
Figura 10: Efeito de Janelamento.....	27
Figura 11:Tipos de Janelamento.....	28
Figura 12:Overlap.....	29
Figura 13: Curvas de ponderação para as frequências.....	31
Figura 14: Gráfico que relaciona efeitos à saúde em relação a intensidade e tempo de exposição.....	32
Figura 15: Dispositivo Almofada.....	34
Figura 16: Dispositivo Almofada com chapa superior.....	35
Figura 17: Computador para leitura e armazenamento de dados.....	35
Figura 18: Analisador de sinais.....	36
Figura 19: Imagens dos Pavimentos avaliados nas medições.....	37
Figura 20: Cadeira manual avaliada nas medições.....	38
Figura 21: Cadeira motorizada avaliada nas medições.....	39
Figura 22: Imagens coletadas durante as medições no Asfalto.....	41
Figura 23: Imagens durante as medições no Calçamento de Pedras.....	42
Figura 24: Imagens durante as medições no Calçamento Paver.....	42
Figura 25: Comparação de resultados para as cadeiras de rodas.....	44
Figura 26: Comparação de resultados para a massa do cadeirante no calçamento paver...	45
Figura 27: Caracterização da Exposição à vibração. Calçamento de pedras/Cadeira Motorizada/Participante A.....	46
Figura 28: Caracterização da exposição às vibrações. Asfalto/Cadeira Motorizada/Participante A.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Normas vigentes relacionadas à vibração de corpo humano.	30
Tabela 2: Características dos sensores.	34
Tabela 3: Características dos usuários nas medições.	40
Tabela 4: Medições realizadas.	40
Tabela 5: Resultados das medições em rms para o Asfalto e Participante A.	43
Tabela 6: Resultados das medições em rms para o Calçamento de Pedras e Participante A.	43
Tabela 7: Resultados das medições em rms para o Calçamento Paver e Participante A.	43
Tabela 8: Resultados das medições em rms para o Calçamento Paver e Participante B.	44
Tabela 9: Resultados das medições em rms para o Calçamento Paver e Participante C. ...	44
Tabela 10: Resultados para o tempo máximo de exposição de cada medição.	47

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS GERAIS.....	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 CADEIRANTES E OS PAVIMENTOS	16
2.1.1 O cadeirante.....	16
2.1.2 As cadeiras de rodas.....	16
2.1.3 Pavimentos.....	17
2.2 VIBRAÇÃO.....	19
2.2.1 Definições.....	19
2.2.2 Exposição humana à vibração	19
2.2.3 Efeitos sobre a saúde devido à vibração.....	21
2.2.4 Medição de vibrações.....	22
2.2.4.1 Equipamentos	22
2.2.4.2 Taxa de Amostragem	25
2.2.4.3 Digitalização e Janelamento.....	26
2.2.4.4 Médias e Overlap	28
2.2.5 Normatização da exposição humana à vibração.....	29
2.2.6 Metodologia de avaliação segundo a ISO 2631-1.....	30
3 METODOLOGIA (Materiais e Métodos)	33
3.1 LOCAIS E DIREÇÕES DAS MEDIÇÕES.....	33
3.2 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO	33
3.3 TIPOS DE PAVIMENTOS AVALIADOS	36
3.4 MODELOS DE CADEIRAS DE RODAS.....	38
3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS USUÁRIOS	39
3.7 MEDIÇÃO DAS VIBRAÇÕES	40

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	43
5 CONCLUSÕES.....	49
ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO ACELERÔMETRO 13657.....	53
ANEXO B – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO ACELERÔMETRO 13658.....	54
ANEXO C – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO ACELERÔMETRO 13664.....	55
ANEXO D – TABELA 3 DA NORMA ISO-2631.....	56
ANEXO E – RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO ASFALTO, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE A.....	57
ANEXO F - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO ASFALTO, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE A.....	58
ANEXO G - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO DE PEDRAS, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE A.....	59
ANEXO H - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO DE PEDRAS, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE A.....	60
ANEXO I - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE A.....	61
ANEXO J - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE A.....	62
ANEXO K - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE B.....	63
ANEXO L - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE B.....	64
ANEXO M - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE C.....	65
ANEXO N - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE C.....	66

1 INTRODUÇÃO

O indivíduo que possui algum tipo de deficiência física e utiliza como meio de locomoção uma cadeira de rodas é chamado de usuário de cadeira de rodas (QUALHARINI, 1997). O uso dessa tecnologia proporciona ao ser humano superar suas limitações e realizar grande parte das atividades vivenciadas por ele.

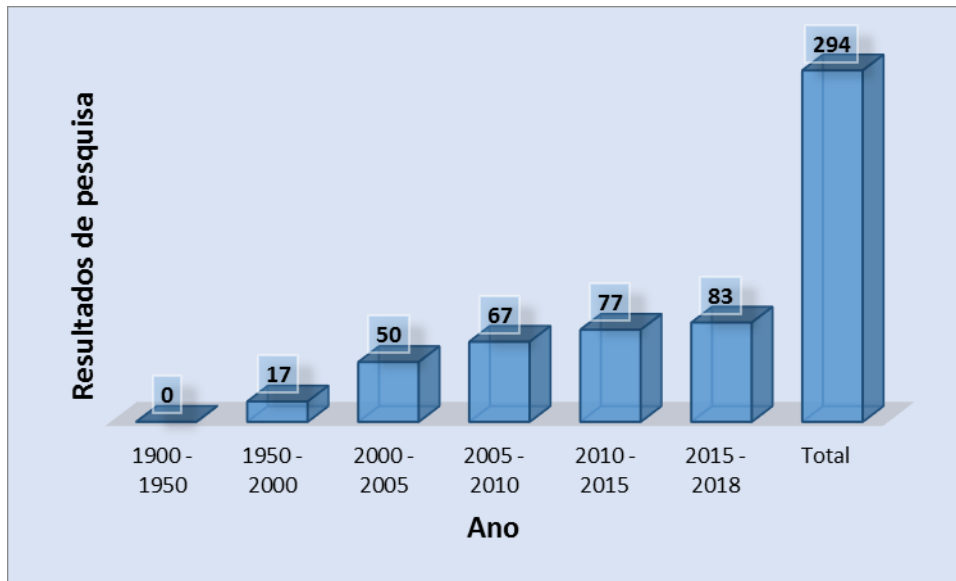
Uma vez que a cadeira de rodas se torna essencial para a sua vida, o cadeirante fica limitado a exercer todas as suas funções em cima da mesma. Assim, ter uma cadeira de rodas adequada e confortável é importante para a saúde do usuário. O uso constante da cadeira de rodas pode trazer complicações a longo prazo (XIMENES, 2006). Assim a tecnologia da cadeira de rodas que tem o objetivo de solucionar um problema pode ocasionar novas complicações.

A exposição à vibração do corpo humano é um assunto cada vez mais relevante, diversas são as pesquisas relacionadas ao trabalhador durante suas oito horas diárias de exposição, sendo esta de corpo inteiro ou de mão-braço.

A vibração de corpo inteiro pode acarretar problemas sérios de saúde ao ser humano, como lesões na coluna vertebral e degeneração gradativa do tecido muscular e nervoso. Destaca-se que a Organização Mundial da Saúde e o Ministério da Saúde do Brasil (PORTARIA 1339, 1999) consideram as vibrações como um agente de risco ocupacional e que podem afetar a saúde do ser humano.

A preocupação com a exposição à vibração do corpo humano é recente, somente no final do século XX são encontrados os primeiros trabalhos com este tema. Há uma carência grande de estudos específicos sobre a avaliação de vibrações em cadeirantes, e as pesquisas até então executadas não são tão claras e objetivas. Como justificativa na Figura 1 pode-se visualizar um gráfico de Resultados x Anos, o qual tem o objetivo de demonstrar a escassez de pesquisas com este tema através de palavras-chaves (português e inglês) no Google Acadêmico.

Figura 1: Trabalhos publicados - Google Acadêmico



Fonte: Autor (2018).

1.1 OBJETIVOS GERAIS

A pesquisa tem o objetivo de avaliar a exposição de vibração de corpo inteiro em cadeirantes, os quais estão continuamente sob esses efeitos em sua rotina.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Quantificar a vibração recebida por cadeirantes nos pavimentos asfalto, calçamento de pedras e calçadas paver;
- Verificar qual o tempo máximo de exposição recomendável para cada pavimento baseado nas medições realizadas;
- Avaliar a influência de duas cadeiras de rodas, manual e motorizada, fazendo um comparativo dos dados de vibrações;
- Verificar se a massa do usuário da cadeira de rodas influencia nos níveis de vibração.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CADEIRANTES E OS PAVIMENTOS

2.1.1 O cadeirante

De acordo com De Farias (2015), a paraplegia, ou tetraplegia é consequência de uma lesão medular, a qual depende diretamente sobre a presença ou não do controle e sensibilidade no lugar inferior ao que ocorreu a lesão medular, geralmente ao nível da coluna dorsal.

Quando o assunto é transitar pelas cidades, para o pedestre são definidas duas categorias de locomoção, os indivíduos que não possuem nenhum tipo de restrição física e os que possuem algum tipo de restrição, que conseqüentemente fazem parte do grupo de pessoas com mobilidade reduzida (CAMPELO, 2011).

É possível considerar que os seres humanos são diferentes em alguns aspectos, quanto a capacidade física, mental ou sensorial, logo conclui-se que os ambientes devem ser projetados pressupondo o uso por pessoas que tenham limitações físicas, ou seja, tem mobilidade reduzida (QUALHARINI, 1997).

As pessoas que apresentam restrições físicas possuem maior dificuldade para realizar suas tarefas diárias, logo é pertinente que elabore-se meios adequados para facilitar sua rotina, tendo como exemplo a cadeira de rodas. Contudo, o cadeirante deve se preocupar na hora da escolha da cadeira de rodas, a qual deve priorizar conforto e saúde do usuário.

2.1.2 As cadeiras de rodas

As cadeiras de rodas são fundamentais para locomoção de pessoas que possuem algum tipo de deficiência física ou que sofreram algum tipo de acidente, o qual impossibilitou-as de se mover normalmente. Existem basicamente dois tipos de cadeiras de rodas, as manuais ou motorizadas.

As cadeiras ditas manuais são as mais simples do mercado e mais utilizadas, sendo o seu funcionamento dependente da força mecânica do braço do usuário. As vantagens desse tipo de cadeira são a leveza, a facilidade de transporte por ser dobrável e o baixo custo de mercado. As cadeiras motorizadas tem o

funcionamento baseado em um motor, o qual substitui a força física do usuário. O peso deste tipo de cadeira é elevado e devido à complexidade dos componentes o custo é elevado.

Segundo De Farias (2015), na hora da escolha da cadeira de rodas é necessário levar em consideração o tipo do pneu. Os pneus infláveis podem ser controlados pela pressão de calibragem, a qual influencia diretamente no conforto do cadeirante, quanto maior a pressão dos pneus menor a resistência ao rolamento, ou seja, menos conforto.

As variáveis que determinam o desempenho de uma cadeira de rodas são basicamente, o peso próprio, tipo de pneus, resistência ao rolamento, coeficiente de atrito estático, elasticidade, absorção de impacto, resistência ao desgaste, resistência à compressão, a rigidez e a estabilidade estrutural (DE FARIAS, 2015).

2.1.3 Pavimentos

Neste trabalho serão avaliados os pavimentos asfalto, calçamento paver e o calçamento poliédrico de pedras, Figura 2, (a), (b) e Figura 3, respectivamente, os quais são predominantes nas cidades atuais. Para pedestres, quando existe a presença de calçadas, normalmente encontra-se blocos de concreto ou paver, caso contrário a locomoção se dá por meio do asfalto ou do calçamento de pedras.

Como uma justificativa para este tipo de calçada, a preocupação com o meio ambiente aumentou desde o fim do século XX, e a partir daí não deixou de ser importante. Existe um incansável esforço por medidas sustentáveis que reduzam a agressão ao nosso planeta. Com isso uma alternativa que vem crescendo é a utilização de peças de concreto ou pavers para a pavimentações de municípios (MALTA, 2013).

A pavimentação em pedra, ou simplesmente calçamento, é estruturada através do assentamento de pedras sobre uma base de agregados miúdos que, com as juntas entre os blocos preenchidas posteriormente com agregado fino ou com argamassa (rejunte), formam um conjunto resistente, viabilizando o tráfego de veículos e pessoas. É recomendado que a pavimentação por calçamento seja executada em associação com o meio-fio ou algum outro elemento que possa contribuir para o travamento do conjunto.

Figura 2: a) Asfalto



b) Calçamento Paver



Fonte: Neri (2013).

Figura 3: Calçamento de pedras irregulares.



Fonte: Portuguesa (2018).

2.2 VIBRAÇÃO

2.2.1 Definições

Segundo Saliba (2009), vibração ou oscilação é considerada como qualquer movimento que se repete, sendo ele irregular ou regular, definido ele em um intervalo de tempo. Com o objetivo de compreender melhor este movimento, é indicado o estudo de oscilação de um corpo em torno de uma posição de equilíbrio das forças e/ou momentos a ele associados.

Estes movimentos podem constituir-se de um simples componente que ocorre em uma única frequência, ou muitos associados ocorrendo em diferentes frequências ao mesmo tempo, como por exemplo, um movimento de um pistão de um motor de combustão interna (FERNANDES, 2000).

De acordo com Fernandes (2000), na prática, os sinais de vibração resumem-se em muitas frequências que ocorrem ao mesmo tempo, logo é difícil a observação em um gráfico a amplitude em função do tempo. É possível fazer a visualização destes plotando a amplitude da vibração em função da frequência. O gráfico que permite ver o nível de vibração em função da frequência é chamado de espectrograma de frequência. Ao analisar a vibração de um mecanismo, encontra-se um grande número de componentes periódicos de frequência que são diretamente relacionados com os movimentos fundamentais de cada uma das partes deste mecanismo. Com a análise de frequência, é possível distinguir as fontes de vibração da máquina.

Uma característica do estudo da frequência de vibração é a chamada frequência de ressonância. Quando um corpo oscila sob a ação de forças internas, ele vibra em sua frequência natural. Quando este mesmo corpo sofre uma força externa, em outras palavras uma vibração forçada, cuja a frequência iguala-se a frequência natural do sistema, ocorre a ressonância, que resulta numa amplificação desta vibração (SOUZA, 2002).

2.2.2 Exposição humana à vibração

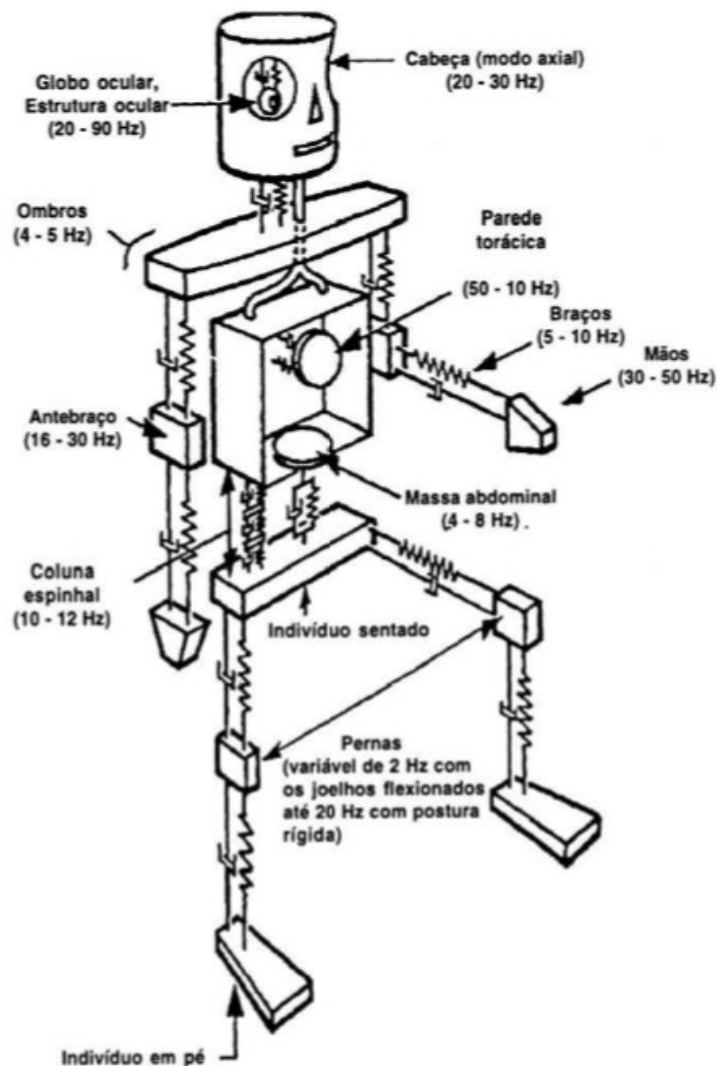
Segundo a norma ISO 2631, existem dois tipos de exposição à vibração do corpo humano, a de mão-braço, a qual é transmitida através do manuseio de

ferramenta ou máquinas e a de corpo inteiro, esta transmitida através de superfícies de apoio do corpo. A mais pertinente no caso dos cadeirantes é a de corpo inteiro, transmitida pela cadeira de rodas ao transitar pelos pavimentos.

As vibrações de corpo inteiro são transmitidas através de superfícies em contato direto com o ser humano, estas podem ser transmitidas através dos pés, costas ou nádegas de uma pessoa sentada. De acordo com a ISO 2631, a faixa de frequência que afeta o ser humano é basicamente de 1 a 80 Hz, mais especificamente de 1 a 20 Hz.

Para análise de vibração o corpo humano pode ser modelado como um sistema biomecânico, que aproxima um sistema massa-mola-amortecedor na faixa de frequência 1 a 80 Hz para vibrações de corpo inteiro (GRIFFIN, 1990), conforme ilustra a Figura 4.

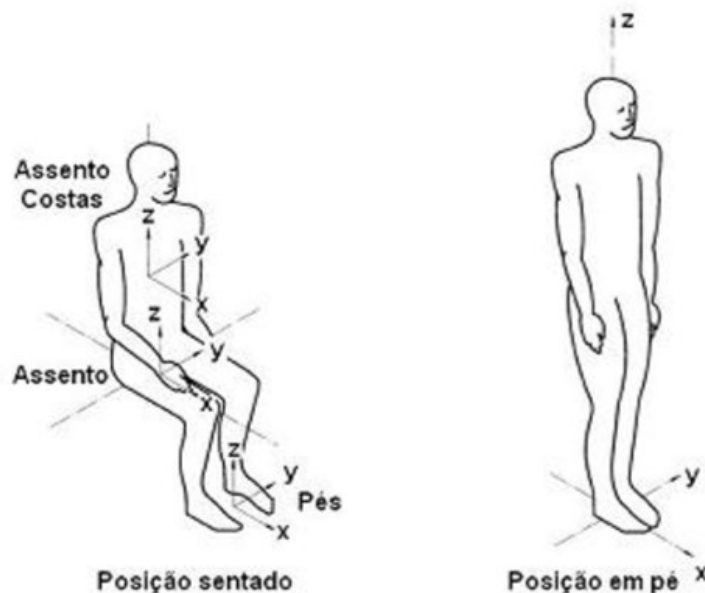
Figura 4: Frequências de ressonâncias nas várias regiões do corpo humano.



Fonte: Gerges (2005).

As vibrações transmitidas ao corpo humano são dadas em três eixos espaciais (x , y e z), com características distintas, como ilustra a Figura 5. O efeito combinado é igual ao somatório dos efeitos parciais, dada as partes do corpo que estão sujeitas a estas vibrações (XIMENES, 2006). Na maior parte dos estudos relacionados à vibração de corpo inteiro, a predominância de maiores níveis de aceleração é na direção do eixo z , devido a maior tendência de movimento se dar no sentido vertical (SEIDEL, 2005).

Figura 5: Sistemas de eixos espaciais corporais.



Fonte: ISO 2631-1 (1997).

2.2.3 Efeitos sobre a saúde devido à vibração

Alguns fatores podem influenciar em implicações na saúde devido à exposição à vibração. Pode-se citar o espectro de ressonância de vibrações do corpo humano, a intensidade da vibração, a direção, o tempo de exposição diário e a exposição pré-acumulada de vibração, além de que, cada pessoa tem sua suscetibilidade de desenvolvimento de doenças (SAVIONEK, 2010).

As frequências que mais afetam pessoas de pé e sentadas estão na direção do eixo z . Os principais problemas relacionados à saúde são na região lombar e na coluna vertebral. Segundo Drerup et al. (1999), destaca-se que a vibração de

corpo inteiro pode interferir no metabolismo de absorção de líquido pelo disco intervertebral, o qual é obstruído de reestabelecer a sua altura e manter os espaços intervertebrais apropriados para a passagem do estímulo nervoso, que resulta em um processo inflamatório, o qual gera dor na região da coluna.

De acordo com a ISO 2631 (1997), alguns efeitos que causam danos à saúde do ser humano são:

1. Alterações de comodidade: sensação de desconforto;
2. Alterações de comportamento: visão turva ou deslocamento de ombros;
3. Efeito de instabilidade corporal que comprometem o equilíbrio;
4. Em relação a faixa de 1 a 80 Hz, efeitos mais graves que podem levar a danos permanentes de determinados órgãos;
5. Em relação a faixa de 30 a 200 Hz, podem gerar dores agudas e até distúrbios cardiovasculares.

2.2.4 Medição de vibrações

Para avaliar o movimento vibratório e as condições que são submetidas aos cadeirantes, é necessário realizar as medições sob condições normais de condução, sem modificações na cadeira e o próprio cadeirante como condutor.

O procedimento utilizado nas medições de vibração é o processamento de sinais, que basicamente consiste na análise ou modificação de sinais utilizando teoria fundamental, aplicações e algoritmos, de forma a extrair informações e torna-los mais fáceis de serem compreendidos (MILTRA, 1998).

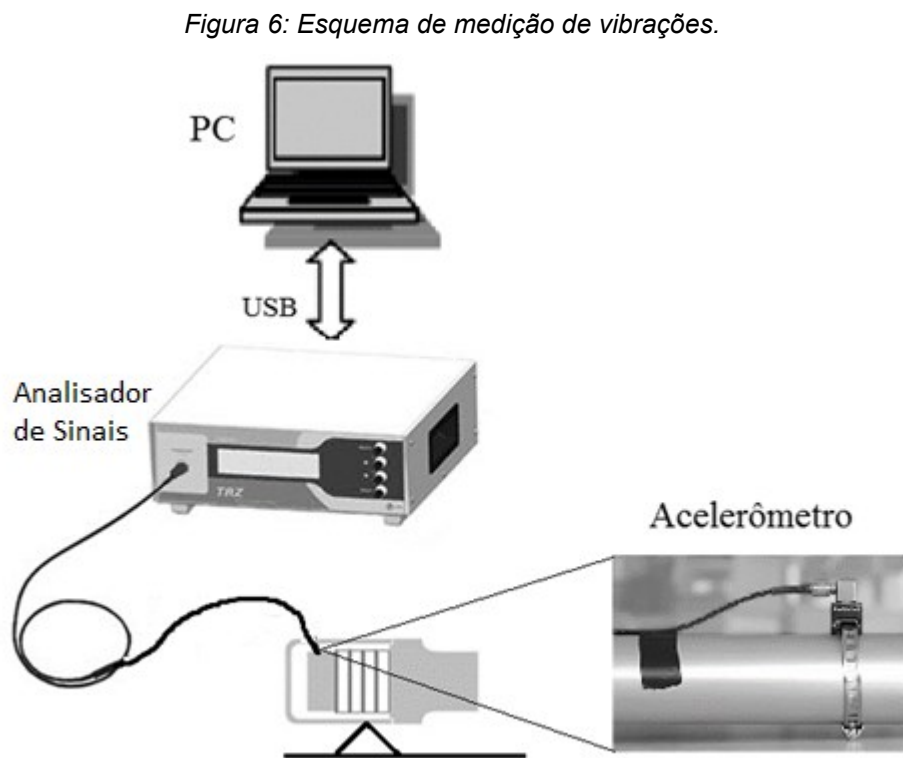
2.2.4.1 Equipamentos

Primeiramente são necessários instrumentos que interajam diretamente com as superfícies dos equipamentos a serem avaliados para realizar as medições de vibrações. Estes dispositivos são chamados de sensores ou transdutores. São equipamentos largamente utilizados na indústria e na ciência. Os sensores que serão utilizados nesta pesquisa serão Acelerômetros. Os acelerômetros são encontrados em diversos tamanhos, massas, eixos de medição e faixas de amplitude e frequência.

Segundo Shaeffer e Girdhar (2004) podem existir transdutores que abrangem frequências entre 1Hz até 8 ou 10kHz. Os transdutores fazem a conversão do movimento mecânico em sinais elétricos.

Em seguida é fundamental um Analisador de Sinais, o qual tem a função de processamento e filtragem dos sinais recebidos através da aplicação da Transformada Rápida de Fourier (FFT).

Posteriormente é necessário um computador que incorpore o programa apropriado para fazer a leitura e a interpretação dessas medições de forma clara. A Figura 6 ilustra um esquema simples de medição de vibrações.



Fonte: Autor (2018).

Segundo a norma ISO-2631 as medições são realizadas em bandas de 1/3 de oitava, num intervalo de 1 a 80 Hertz. São determinadas gamas de frequência, normalmente divididas em 8, chamadas de oitavas. Esses intervalos são definidos pela ISO (International Organization for Standardization) para fornecer um padrão de frequências a serem analisadas.

Um sinal de vibração pode ser representado pela amplitude de deslocamento, velocidade ou aceleração no domínio do tempo. No entanto, os sinais em geral possuem diversos componentes de vibração com frequências distintas, sendo difícil a visualização no gráfico gerado no domínio de tempo. O princípio do processamento de sinais utiliza a Transformada Rápida de Fourier (FFT), que é um algoritmo utilizado nos analisadores digitais de sinais, a formulação dada por Inman (2014):

$$F(t) = \frac{a_o}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega_T t) + b_n \text{sen}(n\omega_T t)) \quad (1)$$

$$\omega_T = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

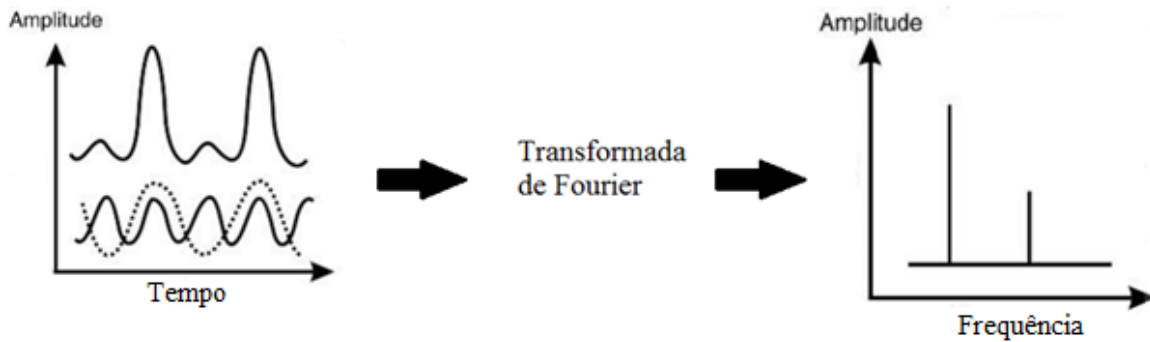
$$a_o = \frac{2\pi}{T} \int_0^T F(t) dt \quad (3)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos(n\omega_T t) dt \quad n = 1, 2, \dots \quad (4)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \text{sen}(n\omega_T t) dt \quad n = 1, 2, \dots \quad (5)$$

A FFT transforma os dados do sinal medido para o domínio da frequência, ou seja, separa-se qualquer função do tempo com frequência diferente que se repita para possível visualização no domínio da frequência, como ilustrado na Figura 7.

Figura 7: Transformada Rápida de Fourier.

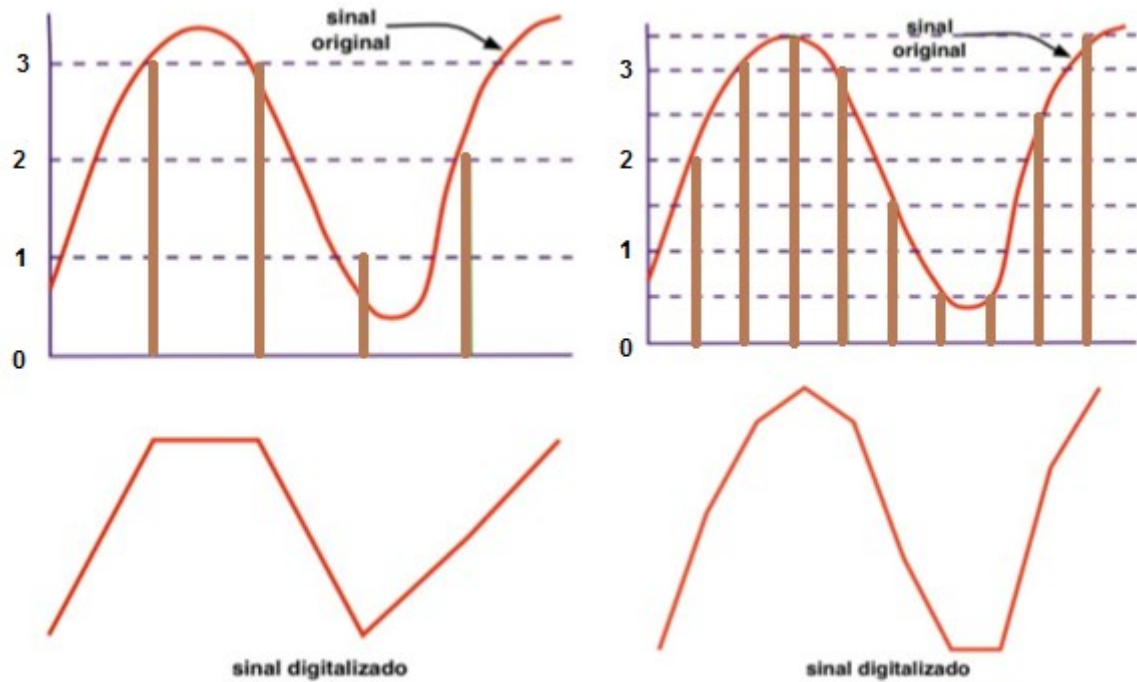


Fonte: Inman (2014).

2.2.4.2 Taxa de Amostragem

Outro parâmetro a considerar é a taxa de amostragem da medição. Amostragem é o processo de leitura e gravação da amplitude da onda em instantes pré-determinados. É necessário que o intervalo de tempo entre a captação de cada amostra, ou seja, a taxa de amostragem, seja suficiente para que a onda seja reconstruída com qualidade (SHREVE, 1995). Quanto maior a taxa de amostragem, mais próximo da realidade, como pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8: Taxas de amostragem.



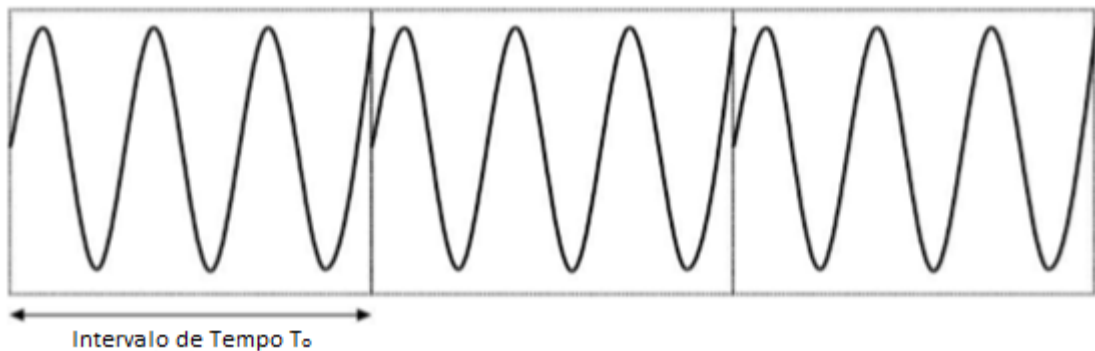
Fonte: Shreve (1995).

2.2.4.3 Digitalização e Janelamento

As medições realizadas são de natureza analógica, logo é necessário converter para dados digitalizados para serem processados. Microprocessadores possuem conversores analógico-digitais que realizam essa tarefa.

Após digitalizados os dados, o próximo passo é o Janelamento. Como a FFT admite que os dados são periódicos no intervalo de tempo T_0 , e são repetidos ao longo do tempo em um número X de amostras, há uma sequência de amostras conjuntas como apresenta a Figura 9.

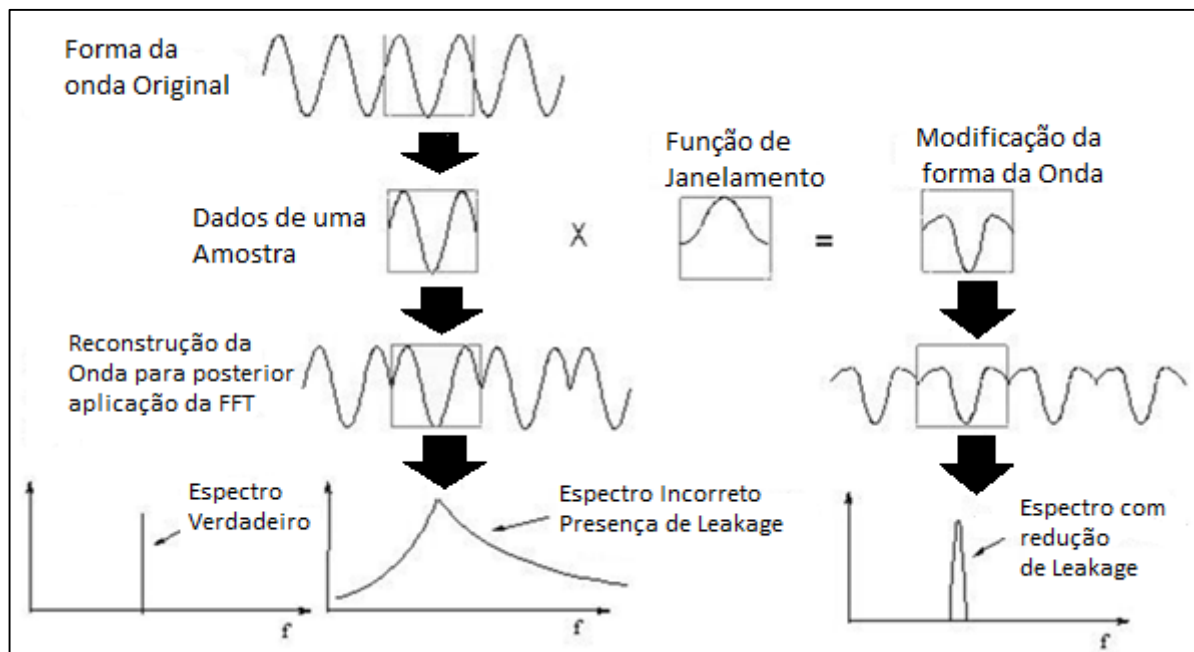
Figura 9: Sequência de dados periódicos.



Fonte: Autor (2018).

Como pode-se notar, há uma descontinuidade ao final de cada período de amostra e início de outra, isto provoca uma distorção do sinal original chamado vazamento do sinal (*Leakage*). A operação de janelamento consiste na multiplicação do sinal por uma função cujo valor final e inicial seja igual a zero. Com o processo de janelamento a forma da onda modifica-se e reduz o leakage do espectro (SHREVE, 1995). É possível observar na Figura 10:

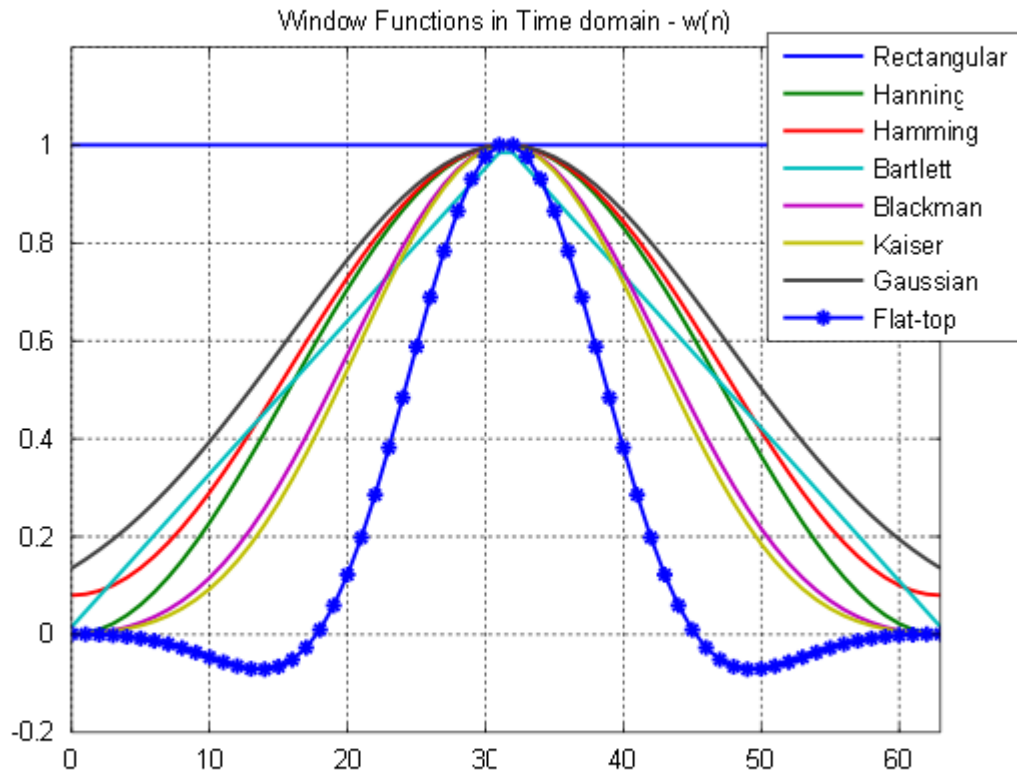
Figura 10: Efeito de Janelamento.



Fonte: Shreve (1995).

Existem alguns tipos de Janelamentos diferentes entre si, os quais são utilizados em cada caso requerido como, saber a amplitude exata de um pico, analisar dois picos próximos, entre outros. É possível visualizar alguns tipos na Figura 11, onde o mais utilizado é o Hanning, o qual será incorporado neste trabalho.

Figura 11: Tipos de Janelamento.



Window Functions in Time domain

Fonte: MATHURANATHAN (2011).

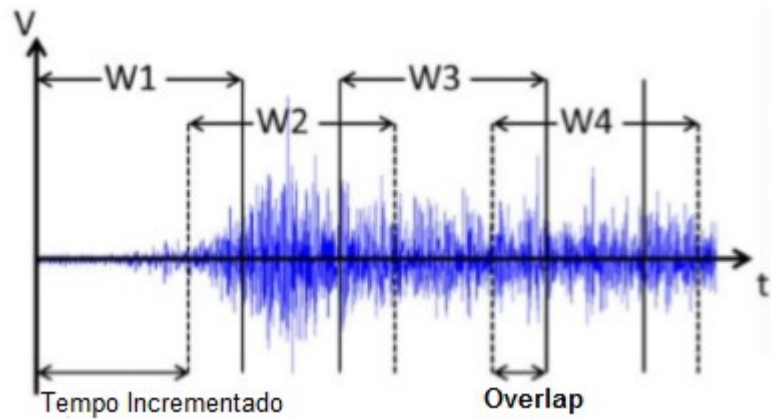
2.2.4.4 Médias e Overlap

O próximo passo é determinar o número e o tipo de média. O intuito do número de médias é fazer com que o avaliador repita n vezes a mesma medição e faça-se a média das mesmas. Segundo Shreve (1995), quanto maior o número de medições, menos interferências externas são concebidas e melhor clareza da vibração em questão.

Existem diferentes tipos de médias para medições, sendo as principais linear e exponencial. A média linear é a média aritmética normal realizada sobre as amostras coletadas e é a mais utilizada em análises de vibrações. A média exponencial considera o espectro mais recente, ou seja, as últimas n amostras são analisadas, a medição só é interrompida pelo usuário.

Uma técnica utilizada no processo de medições é o Overlap (Figura 12), o qual permite usufruir de uma porcentagem dos dados de uma amostra anterior como uma sobreposição. Com a aplicação do overlap têm-se mais médias de espectro para um mesmo tempo e as medições são mais curtas.

Figura 12:Overlap.



Fonte: Shreve (1995).

2.2.5 Normatização da exposição humana à vibração

Os parâmetros que relacionam limites de exposição à vibração e fatores de saúde e a segurança na população foram propostos inicialmente em 1967 e então introduzidos nas normas ISO - International Standard Organization, (BALBINOT, 2001). A Tabela 1 a seguir apresenta as principais normas ISO, juntamente com as normas britânicas BS (British Standard) referentes às vibrações de corpo humano.

Tabela 1: Normas vigentes relacionadas à vibração de corpo humano.

Norma	Objetivo
ISO 2631 -1 (1974, 1978, 1985 e 1997)	Definição de métodos de avaliação relacionados à saúde e conforto humano.
ISO 5008 (1979)	Definição de métodos para medição de vibração em operadores de máquinas agrícolas. Apresentação de uma sugestão de desenvolvimento de uma interface para ser colocada entre o banco e a pessoa para posicionamento do acelerômetro.
BS 6841 (1987)	Definição de métodos de avaliação relacionados à saúde e conforto humano.
BS 7085 (1989)	Apresentação dos aspectos ligados a segurança de experimentos em que pessoas são expostas à vibração mecânica.
ISO 8041 (1990)	Definição das funções de transferência para as funções de compensação e apresentação da nomenclatura utilizada na área.
ISO 2631-4 (2001)	Definição de métodos de avaliação dos efeitos da vibração de corpo inteiro sobre passageiros em transporte sobre trilhos.
ISO 2631-2 (2003)	Definição de métodos de avaliação de vibração de corpo inteiro no interior de edificações (1 a 80 Hz).
ISO 2631- 5 (2004)	Definição de métodos de avaliação dos efeitos da vibração e múltiplos choques sobre o corpo humano.

Fonte: Autor (2018).

2.2.6 Metodologia de avaliação segundo a ISO 2631-1

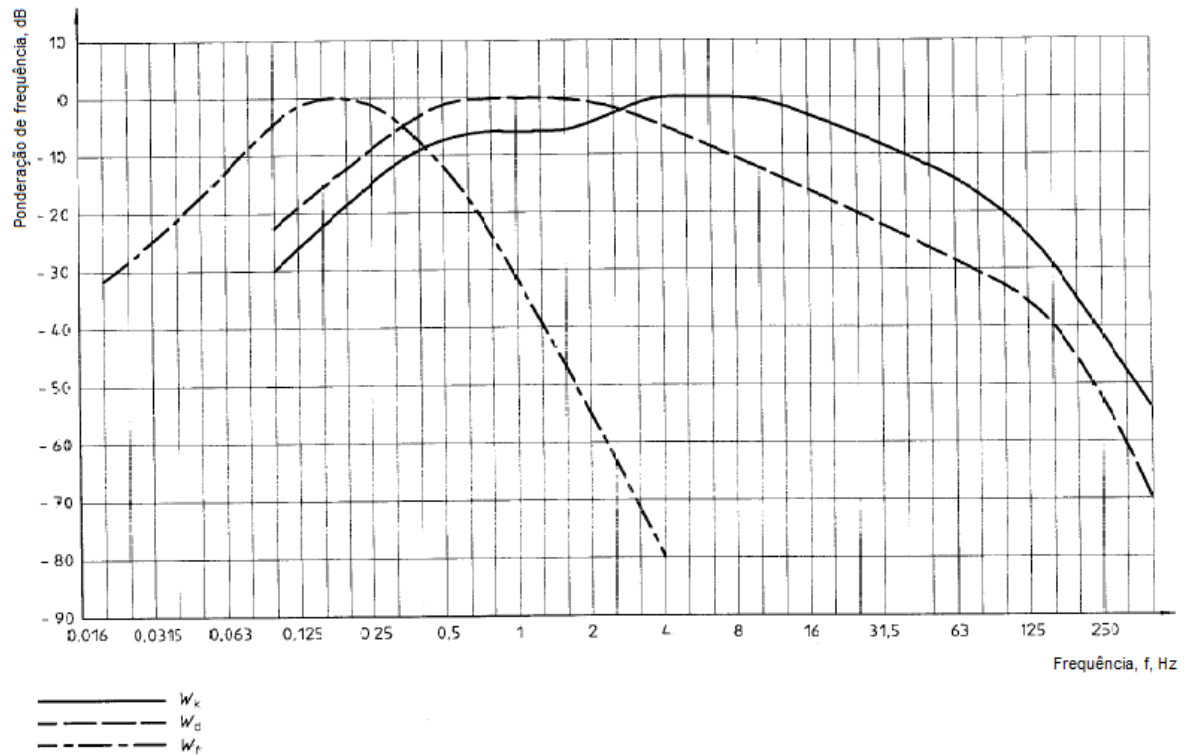
A variável primária que caracteriza uma vibração é aceleração (rms). Esta aceleração deve sofrer uma ponderação, caracterizada nos três eixos, que resulta em uma aceleração rms ponderada para cada um dos eixos. Depois disso o valor global da aceleração ponderada é determinado de acordo com a equação:

$$a_w = \sqrt{\sum_i (W_i a_i)^2}, \quad (6)$$

onde a_w é a aceleração ponderada, W_i o fator de ponderação e a_i a aceleração medida em cada eixo. Na Figura 13 a seguir pode-se visualizar as curvas de

ponderação utilizadas para o cálculo e avaliação das vibrações. O Anexo D constitui os valores em tabela.

Figura 13: Curvas de ponderação para as frequências.



Fonte: ISO 2631-1 (1997).

A norma ainda recomenda que, quando a intensidade de vibração for similar em dois ou mais eixos (x , y e z), deve ser calculado um vetor resultante destes três eixos. A fórmula que determina o vetor resultante da aceleração total é:

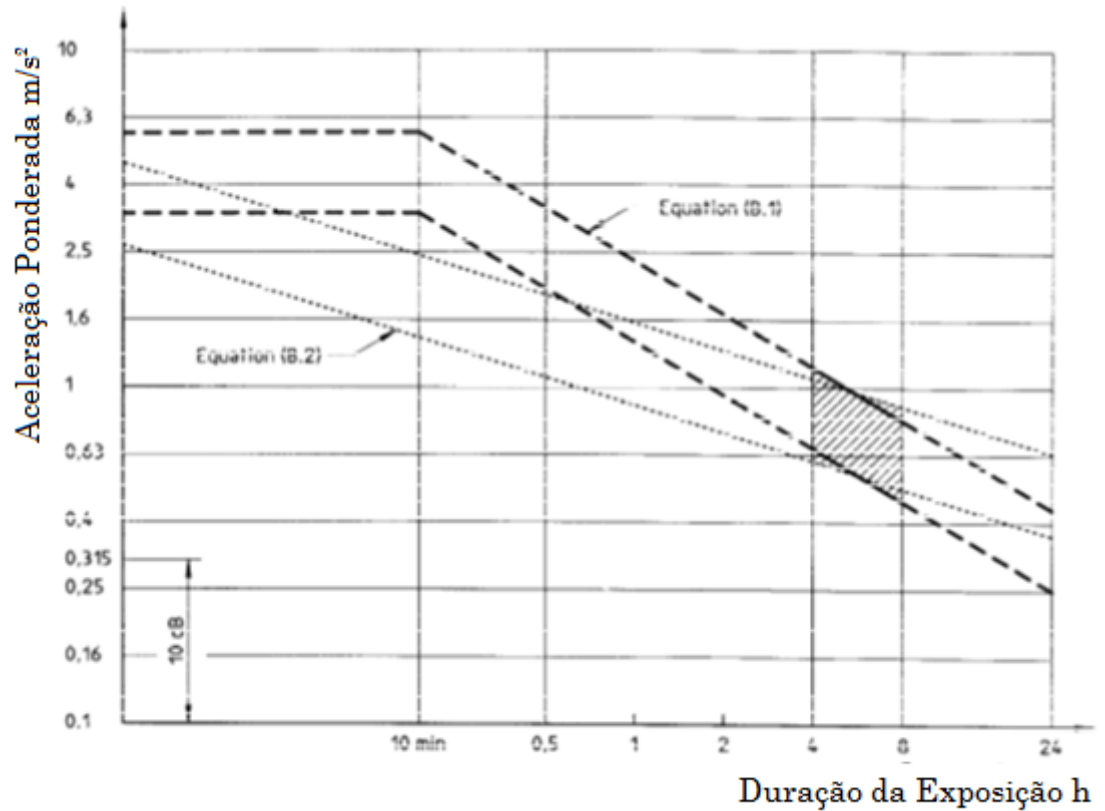
$$a_v = \sqrt{k_x^2 a_{wx}^2 + k_y^2 a_{wy}^2 + k_z^2 a_{wz}^2}, \quad (7)$$

onde a_{wx} , a_{wy} e a_{wz} são as acelerações r.m.s ponderadas para cada eixo ortogonal e k_x , k_y e k_z são fatores multiplicativos, os quais valem: 1,4, 1,4 e 1, respectivamente.

Os limites para a aceleração total ponderada, para tempos diferentes de exposição à vibração são expostos na Figura 14. De acordo com a norma, a região compreendida pelas linhas tracejadas é apontada como a zona de precaução ou zona de cautela. Para exposições abaixo desta zona, efeitos prejudiciais não têm sido claramente documentados e/ou observados, e acima da zona de precaução riscos

são prováveis. Na zona de precaução recomenda-se cautela em relação a possíveis riscos potenciais a saúde.

Figura 14: Gráfico que relaciona efeitos à saúde em relação a intensidade e tempo de exposição.



Fonte: ISO 2631-1.

3 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

Como apresentado anteriormente, existem dois tipos de exposição à vibração: mão-braço e de corpo inteiro. Uma vez que o foco desse trabalho é analisar a situação de cadeirantes, segue-se as normativas para corpo inteiro. A avaliação da exposição humana à vibração de corpo inteiro consiste em medições de acordo com os métodos descritos na norma ISO 2631.

Para atingir os objetivos deste trabalho foram realizadas medições de vibrações em duas cadeiras de rodas, uma manual e outra motorizada. Variou-se o pavimento local de medição entre asfalto, calçamento paver e calçamento de pedras. Outro parâmetro variado foi a massa do cadeirante, com uma alternância entre três indivíduos, com as seguintes massas: 26 kg, 65 kg e 90 kg.

3.1 LOCAIS E DIREÇÕES DAS MEDIÇÕES

As vibrações foram medidas nas superfícies do assento das cadeiras de rodas. Adotou-se o sistema de coordenadas já apresentado na Figura 3 para posição sentado. Com o objetivo de realizar as medições nas três direções da cadeira, conforme a norma ISO-2631, foi elaborado um dispositivo de forma a não alterar significativamente a transmissibilidade de vibrações para o corpo do usuário. Este dispositivo foi posicionado exatamente no contato da superfície do assento e quadril do usuário durante a condução da cadeira de rodas.

3.2 EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO

Foram utilizados 3 acelerômetros para a medição das acelerações, um para cada eixo (x , y e z). As características dos acelerômetros podem ser visualizadas na Tabela 2. O dispositivo criado chamado “almofada” incorpora os três acelerômetros em seu interior. O material deste dispositivo é basicamente EVA, envolto de fita isolante, uma chapa metálica rígida em baixo para fixação dos acelerômetros, um cubo de madeira para posicionamento dos sensores para medição em seus

respectivos eixos e outra chapa metálica rígida acima para seguridade dos equipamentos. Cabos elétricos realizam a conexão dos transdutores e equipamentos.

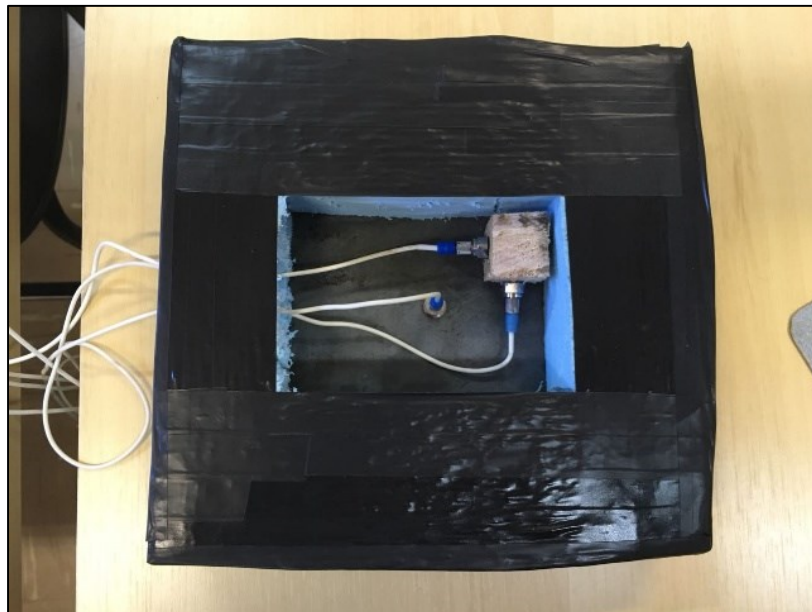
Tabela 2: Características dos sensores.

Instrumento	Marca	Modelo	No. Série	Certificado de Calibração
Acelerômetro	ENDEVCO	256-100	13657	Anexo A
Acelerômetro	ENDEVCO	256-100	13658	Anexo B
Acelerômetro	ENDEVCO	256-100	13664	Anexo C

Fonte: Autor (2018).

Para a obtenção dos sinais dos transdutores, foi utilizado um computador pessoal portátil da marca ASUS, com o software dBFA 32 instalado, juntamente com um analisador/condicionador de sinais da marca 01dB de 4 canais. Nas Figuras 15 a 18 pode-se visualizar os equipamentos de medição utilizados.

Figura 15: Dispositivo Almofada.



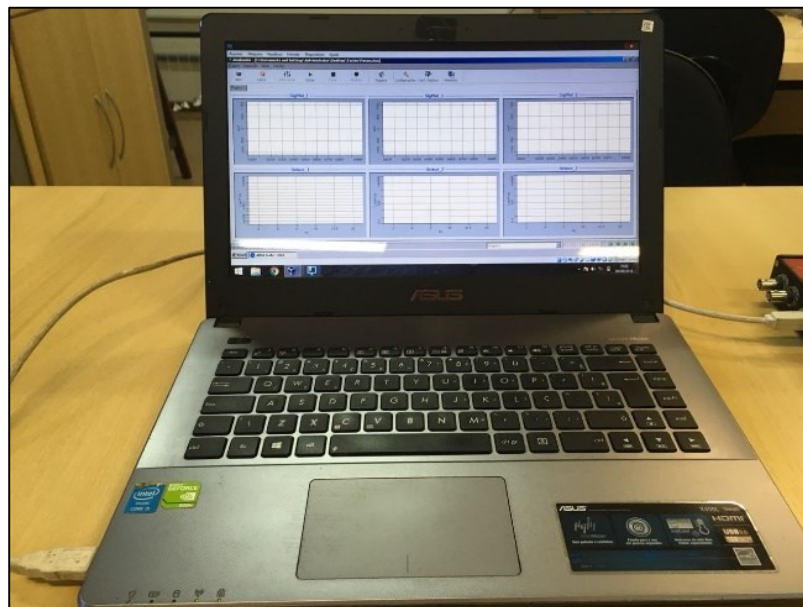
Fonte: Autor (2018).

Figura 16: Dispositivo Almofada com chapa superior.



Fonte: Autor (2018).

Figura 17: Computador para leitura e armazenamento de dados.



Fonte: Autor (2018).

Figura 18: Analisador de sinais.



Fonte: Autor (2018).

3.3 TIPOS DE PAVIMENTOS AVALIADOS

As medições foram realizadas para três tipos de pavimentação diferentes, asfalto (AS), calçamento paver (PA) ou também chamado de pavimento intertravado de concreto e calçamento poliédrico de pedras (CP), em condições normais.

A pavimentação de asfalto (AS) é definida como tipo flexível e caracterizada por apresentar uma superfície relativamente lisa e sem interrupções. As medições nesse tipo de pavimento foram realizadas na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco, mais precisamente próximo ao bloco H.

O calçamento paver (CP) é caracterizado como tipo rígido e apresenta constantes interrupções durante o trajeto devido as juntas entre os blocos. Outras irregularidades são caracterizadas pela presença de pisos táteis nesse tipo de pavimento, os quais consistem em altos relevos fixados no chão com o propósito de oferecer auxílio na locomoção de deficientes visuais. Os blocos apresentam dimensões de 10 cm de largura e 20 cm de comprimento. As medições foram realizadas também na Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Pato Branco próximo ao bloco H.

O calçamento poliédrico de pedras (CP) consiste em camadas de pedras irregulares com dimensões aproximadas de 10 x 15 x 10 centímetros, que são assentadas e comprimidas sobre um colchão regular constituído de areia ou pó de brita com espessura de 15 cm. As medições nesse pavimento foram realizadas também na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco - PR. A Figura 19 apresenta imagens referentes aos locais de medições de cada pavimento.

Figura 19: Imagens dos Pavimentos avaliados nas medições.



Fonte: Autor (2018).

3.4 MODELOS DE CADEIRAS DE RODAS

Foram selecionadas duas cadeiras de rodas, sendo uma manual e outra motorizada para verificar a influência nos níveis de vibrações. A variação das características entre as cadeiras possibilita uma maior abrangência de dados para a pesquisa.

O modelo da cadeira manual utilizada foi o K2 ORTOBRÁS (Figura 20), confeccionada em liga de alumínio com pintura epóxi, com estofamento em nylon acolchoado resistente com tensionamento de assento. Possui capacidade para 120 kg, aro de impulso em alumínio e rodas traseiras de 24" infláveis e dianteiras de 6" maciças.

Figura 20: Cadeira manual avaliada nas medições.



Bisturi (2018).

O modelo da cadeira de rodas motorizada utilizada foi o JAZZY 1103 Ultra (Figura 21), possui dois conjuntos principais: o assento e a base. Possui assento de elevação, controlador VSI Integral de 50 amperes, além de dispor de uma central com motor duplo de tração nas rodas intermediárias. O modelo apresenta (6) rodas, as quais duas traseiras são de 8" maciças, as duas dianteiras de 6" também maciças e

as intermediárias são rodas pneumáticas de 10". As rodas pneumáticas são constituídas por um pneu e uma câmara de ar, sendo um pouco mais leve que uma roda de pneu maciço e facilita na hora de realizar manobras.

Figura 21: Cadeira motorizada avaliada nas medições.



Fonte: Ajcbattery (2018).

3.5 CARACTERIZAÇÃO DOS USUÁRIOS

Com o intuito de avaliar a influência da massa nas medições, foram selecionados três indivíduos com massas diferentes entre si cujas características são apresentadas na Tabela 3. Foi realizada 1 bateria de medição para cada um dos três

usuários no calçamento paver, nos demais pavimentos apenas o usuário (A) participou das medições.

Tabela 3: Características dos usuários nas medições.

Identificação	Sexo	Idade (anos)	Massa (kg)	Altura (m)	Índice de Massa corporal (IMC)
A	M	25	26	1,10	21,49
B	M	36	62	1,64	23,05
C	M	49	90	1,77	28,75

Fonte: Autor (2018).

3.7 MEDIÇÃO DAS VIBRAÇÕES

Segundo a ISO-2631, o tempo mínimo de cada bateria de medição deve ser de 200 segundos. Nesta pesquisa o tempo de cada medição foi definido em 240 segundos. Um total de 10 medições foram realizadas e podem ser visualizadas na Tabela 4 com seus respectivos participantes.

Tabela 4: Medições realizadas.

	Cadeira Manual	Cadeira Motorizada
Asfalto	A	A
Paver	A, B, C	A, B, C
C. Pedras	A	A

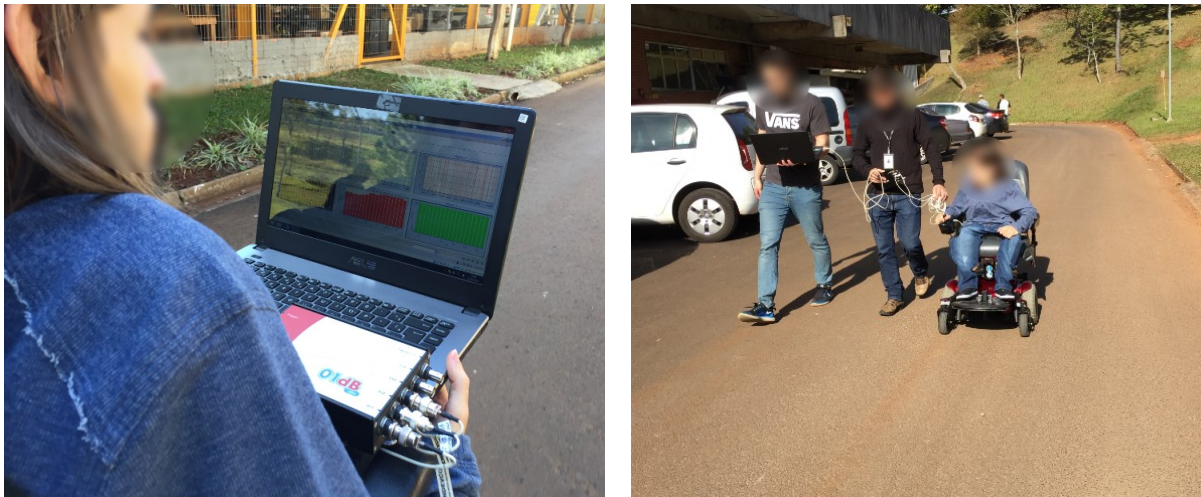
Fonte: Autor (2018).

Como abordado na sessão 2.2.4, a faixa de frequência medida foi de 1 a 80 Hertz, que caracteriza as frequências sensíveis ao corpo humano. Os dados foram medidos em banda de 1/3 de oitava. A taxa de amostragem utilizada foi de 100 ms e o janelamento do tipo Hanning. O tipo de média utilizado foi o linear com um overlap de 75%. Com todo o equipamento montado e parâmetros determinados, as medições foram então realizadas.

Através do processamento de sinais, proveniente dos transdutores, e a aplicação da transformada de Fourier, os valores de aceleração para cada uma das frequências foram obtidos para cada eixo.

A seguir, com o auxílio do programa Matlab and Simulink for Student Use, foi criado um algoritmo para a aplicação dos fatores de ponderações apresentados na Tabela 3 da norma ISO-2631 (Anexo D), e na sequência o valor global da aceleração ponderada em rms foi determinado pela equação (6). Como os valores adquiridos foram similares nas direções x e y, o vetor resultante da aceleração total foi calculado através da equação (7). Nas Figuras 22 a 24 pode-se visualizar imagens referentes as medições realizadas.

Figura 22: Imagens coletadas durante as medições no Asfalto.



Fonte: Autor (2018).

Figura 23: Imagens durante as medições no Calçamento de Pedras.



Fonte: Autor (2018).

Figura 24: Imagens durante as medições no Calçamento Paver.



Fonte: Autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As medições de vibrações foram realizadas conforme apresentado na Tabela 4. Os dados foram exportados em arquivos de texto <.txt> e processados em rotinas desenvolvidas no programa Matlab de acordo com as equações e ponderações estabelecidas pela norma ISO-2631 (1997). Os resultados obtidos podem ser visualizados através dos gráficos apresentados nos Anexos E-N, para os dados ponderados e não ponderados assim como sugerido pela norma. Nas Tabelas 5-9 são apresentados os resultados dos valores globais de aceleração.

Tabela 5: Resultados das medições em rms para o Asfalto e Participante A.

Cadeira	Aceleração ponderada a_{wx}	Aceleração ponderada a_{wy}	Aceleração ponderada a_{wz}	Resultante a_v
Manual	0,13	0,09	0,59	0,63
Motorizada	0,12	0,14	0,41	0,48

Fonte: Autor (2018).

Tabela 6: Resultados das medições em rms para o Calçamento de Pedras e Participante A.

Cadeira	Aceleração ponderada a_{wx}	Aceleração ponderada a_{wy}	Aceleração ponderada a_{wz}	Resultante a_v
Manual	0,46	0,39	1,69	1,89
Motorizada	0,60	0,57	1,76	2,11

Fonte: Autor (2018).

Tabela 7: Resultados das medições em rms para o Calçamento Paver e Participante A.

Cadeira	Aceleração ponderada a_{wx}	Aceleração ponderada a_{wy}	Aceleração ponderada a_{wz}	Resultante a_v
Manual	0,30	0,18	1,13	1,23
Motorizada	0,26	0,29	1,13	1,25

Fonte: Autor (2018).

Tabela 8: Resultados das medições em rms para o Calçamento Paver e Participante B.

Cadeira	Aceleração ponderada a_{wx}	Aceleração ponderada a_{wy}	Aceleração ponderada a_{wz}	Resultante a_v
Manual	0,18	0,19	0,88	0,95
Motorizada	0,22	0,23	0,83	0,94

Fonte: Autor (2018).

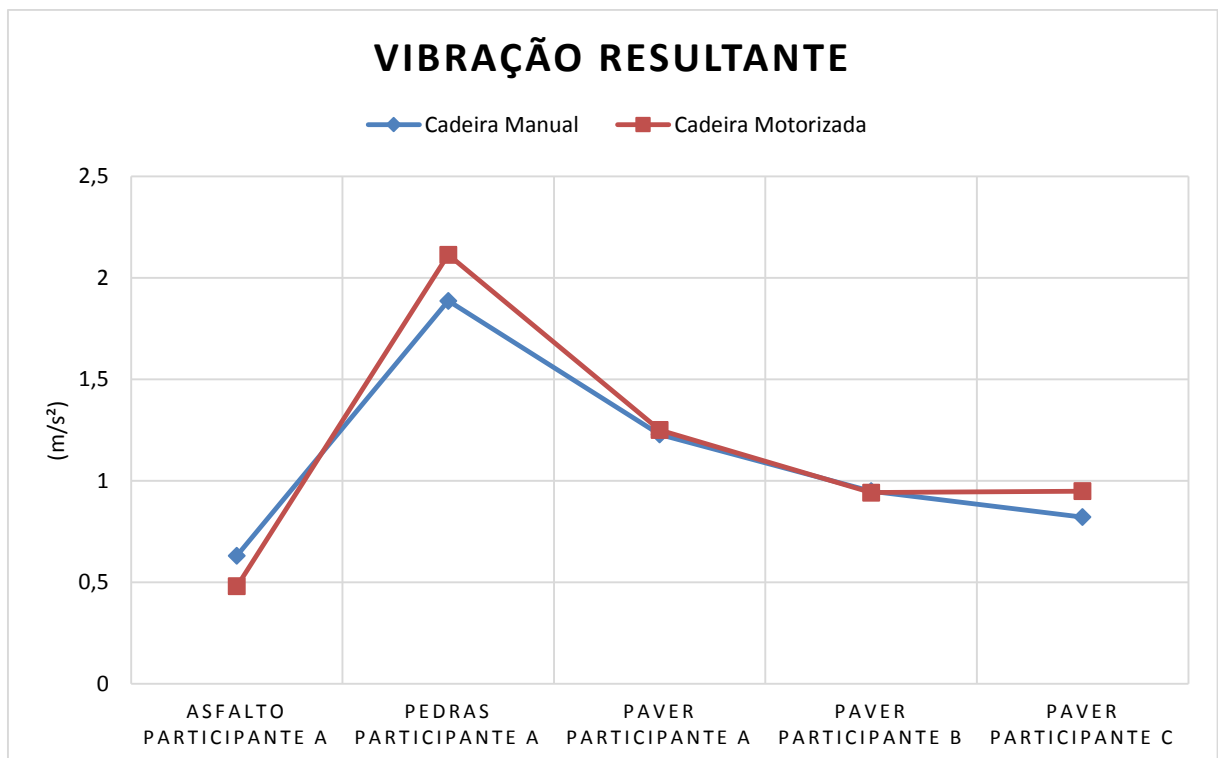
Tabela 9: Resultados das medições em rms para o Calçamento Paver e Participante C.

Cadeira	Aceleração ponderada a_{wx}	Aceleração ponderada a_{wy}	Aceleração ponderada a_{wz}	Resultante a_v
Manual	0,16	0,22	0,73	0,82
Motorizada	0,21	0,26	0,82	0,95

Fonte: Autor (2018).

A comparação entre a cadeira manual e a motorizada pode ser visualizada no gráfico apresentado pela Figura 25. É possível visualizar uma pequena diferença entre as duas cadeiras, onde a manual tende a absorver melhor as vibrações durante os trajetos.

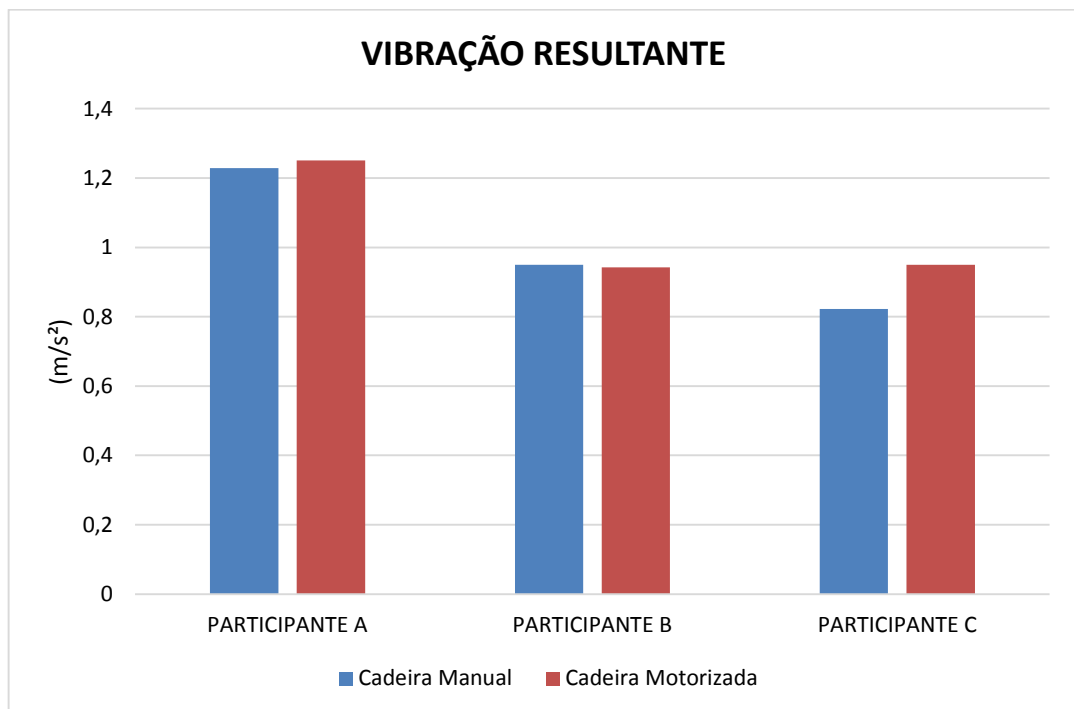
Figura 25: Comparação de resultados para as cadeiras de rodas.



Fonte: Autor (2018).

Outra comparação é a da massa do cadeirante, a qual pode ser visualizada no gráfico apresentado pela Figura 26 durante o trajeto no pavimento da calçada paver. Uma leve tendência decrescente pode ser observada, ou seja, quanto maior a massa do cadeirante menor a vibração recebida pelo usuário.

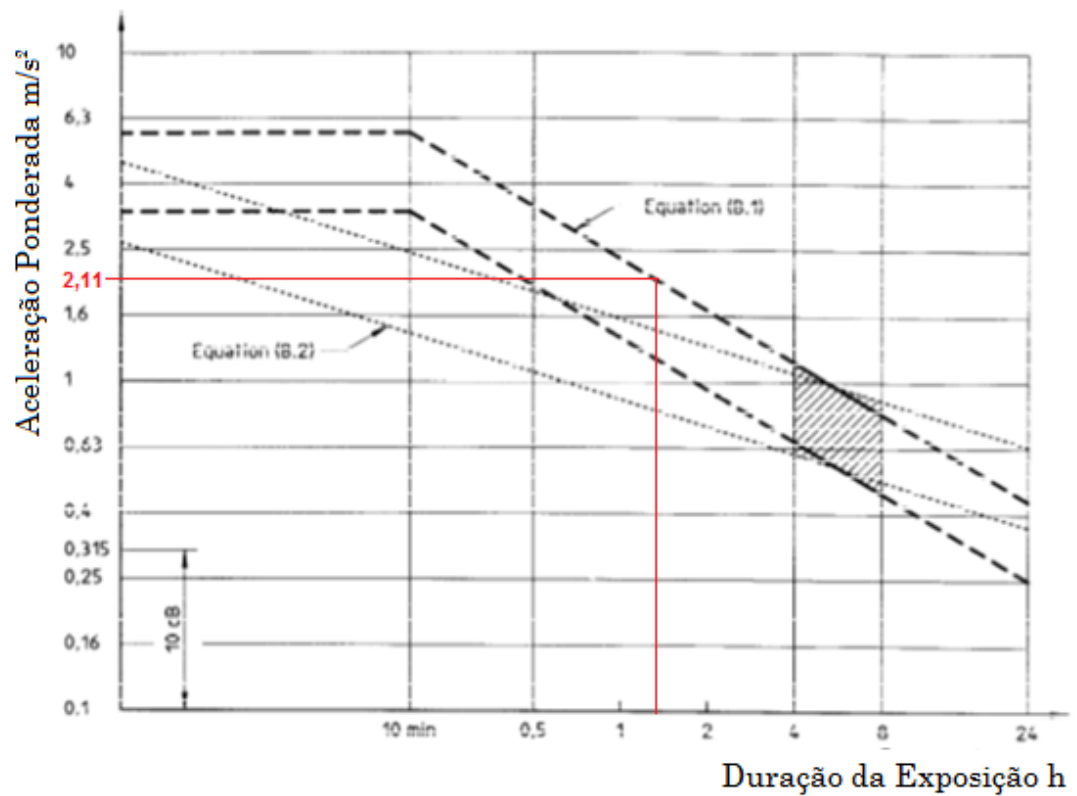
Figura 26: Comparação de resultados para a massa do cadeirante no calçamento paver.



Fonte: Autor (2018).

A partir das medições realizadas, determinou-se o tempo máximo de exposição humana à vibração para cadeirantes em cada um dos pavimentos avaliados, de acordo com a norma ISO-2631 (Gráfico que relaciona efeitos à saúde em relação a intensidade e tempo de exposição). Verificou-se que o menor tempo avaliado no gráfico da Figura 2 foi no calçamento de pedras e com a cadeira de rodas motorizada. A vibração resultante foi de 2,11 m/s² o qual relaciona um tempo máximo de exposição de aproximadamente 1 hora e 30 minutos, conforme apontado na Figura 27.

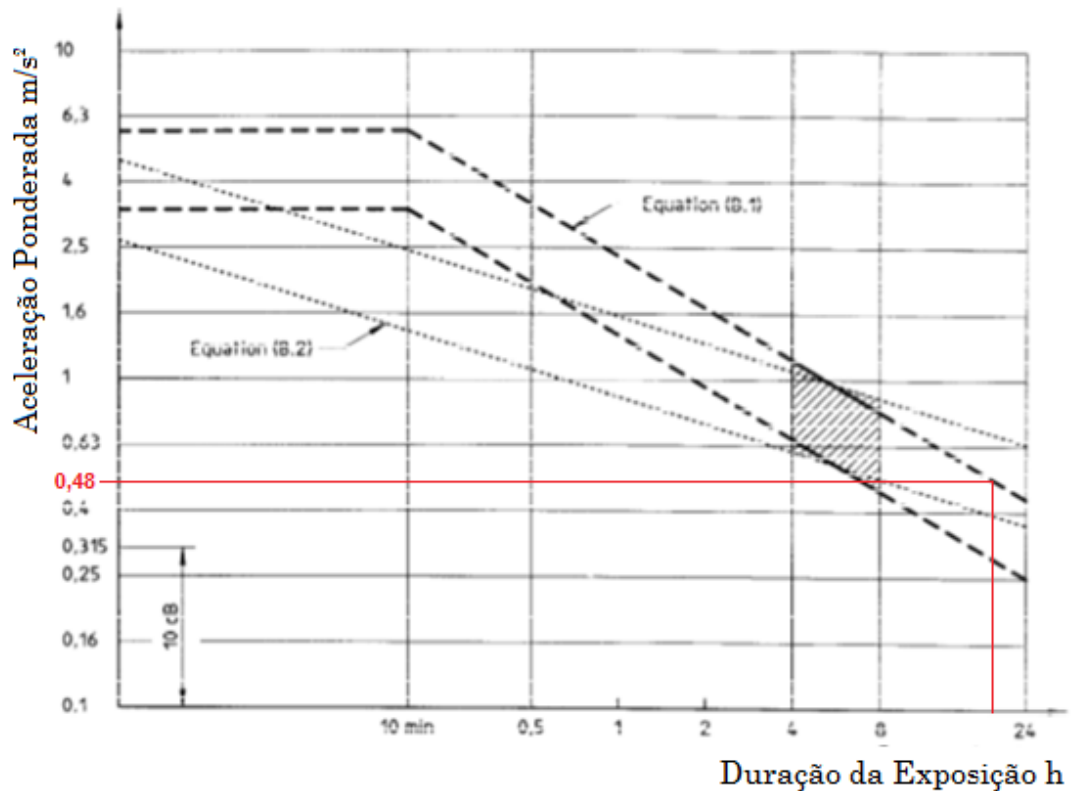
Figura 27: Caracterização da Exposição à vibração. Calçamento de pedras/Cadeira Motorizada/Participante A.



Fonte: Autor (2018).

Em contrapartida o maior tempo verificado foi no asfalto com a mesma cadeira motorizada sendo pouco menos de 20 horas e magnitude de vibração 0,48 m/s^2 . Pode-se visualizar na Figura 28:

Figura 28: Caracterização da exposição às vibrações. Asfalto/Cadeira Motorizada/Participante A



Fonte: Autor (2018).

Partindo do mesmo princípio, foi elaborada uma tabela (Tabela 10) com cada medição e seus respectivos valores de resultante em rms e seu tempo máximo de exposição à vibração, acima destes tempos, conforme apontado pela norma, riscos à saúde são prováveis.

Tabela 10: Resultados para o tempo máximo de exposição de cada medição.

Medição	Pavimento	Cadeira	Resultante (m/s^2)	Tempo Máximo de Exposição (h)
Medição 1	Asfalto	Manual	0,63	12,0
Medição 2	Asfalto	Motorizada	0,48	19,5
Medição 3	Pedras	Manual	1,89	1,75
Medição 4	Pedras	Motorizada	2,11	1,5
Medição 5	Paver	Manual	1,23	4,0
Medição 6	Paver	Motorizada	1,25	3,9
Medição 7	Paver	Manual	0,95	6,0
Medição 8	Paver	Motorizada	0,94	6,1
Medição 9	Paver	Manual	0,82	7
Medição 10	Paver	Motorizada	0,95	6,0

Fonte: Autor (2018).

Como pode ser visualizado na Tabela 10, os maiores valores de vibração foram encontrados no calçamento de pedras, logo os menores tempos de exposição são ligados a este tipo de pavimento. Um total de 1 hora e 30 minutos para a cadeira motorizada e 1 hora e 45 minutos para a manual.

Os menores níveis de vibração medidos estão ligados ao asfalto, onde os tempos de exposição para a cadeira motorizada e manual foram de 19 horas e 30 minutos e 12 horas respectivamente. De acordo com a norma em caso de ultrapassarem estes limites de exposição, riscos à saúde serão prováveis.

Em comparação de resultados para as cadeiras de rodas, a manual no geral teve um melhor desempenho na absorção dos níveis de vibração que a motorizada, a complexidade e conjunto de frequências distintas da última pode ter ocasionado a performance inferior.

Em relação às medições na calçada paver, os tempos de exposições máximos ficaram entre 4 e 7 horas de exposição. Neste pavimento foi avaliada a influência da massa do cadeirante nas duas cadeiras de rodas através do gráfico da Figura 25. É difícil afirmar se há ou não influência da massa do usuário pelas medições realizadas, percebe-se uma leve tendência de que quanto maior a massa do usuário, menores são os níveis de vibração recebidos por ele. Porém o número de participantes é pequeno para afirmar com convicção.

5 CONCLUSÕES

Com a presente pesquisa pôde-se melhorar o conhecimento a respeito das vibrações em cadeirantes e os efeitos que podem causar ao corpo humano. Verificou-se que os cadeirantes, os quais estão na maior parte do tempo utilizando a cadeira de rodas, podem sofrer sim complicações se excederem tempos limites em relação a cada pavimento selecionado.

Por motivos de maior irregularidade, o Calçamento de Pedras teve maiores valores de vibração durante o trajeto das duas cadeiras de rodas, seguido da Calçada Paver e Asfalto. Pôde-se perceber que em níveis baixos de vibrações a cadeira motorizada conseguiu se desempenhar melhor que a cadeira manual, porém em altos níveis de vibrações a cadeira motorizada demonstrou-se inferior.

O Calçamento de Pedras é o pavimento mais perigoso para a saúde dos cadeirantes, então é aconselhável evitar o máximo possível transitar por esse piso. Um ponto positivo é que com o desenvolvimento das cidades, é cada vez mais difícil encontrar este pavimento.

Não foi possível afirmar muito em relação a massa do cadeirante, porém no geral, os dados apontam que quanto menor a massa do cadeirante, menores são os níveis de vibração.

O presente trabalho teve o objetivo de informatizar e declarar importância a um assunto que deixa a desejar quando se busca referências no meio acadêmico e de pesquisa. Futuros projetos podem se embasar através deste para retirada de informações e propiciar como um exemplo algum tipo de componente para a cadeira, o qual visaria a diminuição da exposição à vibração dos usuários. Outra ideia, para trabalhos mais aprofundados, a elaboração de um novo protótipo de cadeira de rodas, o qual daria importância a esta área de vibrações, que merece ser destacada em função dos impactos à saúde humana.

Outra sugestão é realizar novas medições em maior número, com o objetivo de obter uma média melhor, outros pavimentos semelhantes são indicados para novas medições. Uma quantidade maior de participantes com massas diferentes pode esclarecer melhor a influência da massa na exposição às vibrações.

REFERÊNCIAS

KIOSKEA. Diagrama de Gantt. Kioskea.net, 2011. Disponível em: <<http://pt.kioskea.net/contents/projet/gantt.php3>>. Acesso em: 07 Mar. 2011.

SALIBA, T. M. - Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração. São Paulo: LTR, 2009.

FERNANDES, J. C. Segurança nas vibrações sobre o corpo humano. 2000.

CAMPELO, A.E.P. Proposição de Modelo para Escolha de Rotas Urbanas Acessíveis Considerando-se Critérios de Microacessibilidade para as Pessoas com Deficiência Física Motora. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 142 fl, 2011.

DE FARIAS, M.R. Vibração Transmitida a Cadeirantes Através do Deslocamento Sobre Determindos Tipos de Revestimento de Calçadas. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Uberlândia, 2015.

QUALHARINI, E.L. Mini Curso sobre Acessibilidade e Ergonomia no Ambiente Urbano. Universidade do Rio de Janeiro, 1997.

REGAZZI, R. D. e XIMENES, G. M. (2005). A Importância da Avaliação da Vibração no Corpo Humano. IMETRO. Rio de Janeiro, Brasil.

MALTA, Y.G.C. Avaliação Das Propriedades De Peças De Concreto Para Pavimentação Utilizadas Nas Vias De Passeio Das Obras Do Anel Viário De Curitiba. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Curitiba, 2013.

NERI, J.V.G. Análise Da Acessibilidade Aos Portadores De Necessidades Especiais No Calçamento Público Da Região Central De Campo Mourão-Pr. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Campo Mourão, 2013.

SOUZA, V. A. Análise de impacto e risco de lesões no segmento superior associadas a execução da técnica de gyaku tsuki sobre makiwara por praticantes de karate do estilo shotokan. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2002.

GRIFFIN, M. J. Handbook of human vibration. London: Academic Press, 1990.

GERGES, S. N. Y. Ruídos e vibrações veiculares. Florianópolis: NR Editora, 2005.

XIMENES, G. M. Gestão ocupacional da vibração no corpo humana, aspectos técnicos e legais relacionadas a saúde e segurança. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Sistemas de Gestão, Universidade Federal Fluminense. 2006.

SEIDEL, H. On the relationship between whole-body vibration exposure and spinal health risk. *Industrial Health*. v. 43, 2005.

SAVIONEK, D. Medição e Avaliação da Exposição Humana à Vibração Transmitida ao Sistema Mão-Braço Durante a Atividade Ciclística. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

DRERUP, B.; GRANITZKA, M.; ASSHEUER, J.; ZERLETT, G. Assessment of disc injury in subjects exposed to long-term whole-body vibration. *European Spine Journal*. v. 8, n. 6, 1999.

Portuguesa, Pedra. Imagem Calçamento de Pedras. Disponível em: <<https://www.pedraportuguesadobrasil.com.br>>. Acesso em 16 de junho de 2018.

BALBINOT, A. Caracterização dos níveis de vibração em motoristas de ônibus: um enfoque no conforto e na saúde. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.

PORTELA, B.S. Vibração de Corpo Inteiro em Motoristas De Ônibus: Associação com Variáveis de Aptidão Física e Dor Lombar. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Educação Física. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

"ISO 2631-1:1997", Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration, 1997.

S. K. MILTRA. *Digital Signal Processing: A Computer-Based Approach*. McGraw-Hill, New York, NY, 1998.

PORTARIA Nº 1339, de 18 de novembro de 1999. Lista de doenças relacionadas ao trabalho: relação de agente ou fatores de natureza ocupacional, com as respectivas doenças que podem estar com eles relacionadas. Ministério de Estado da Saúde, Brasil.

SHAEFFER, C.; GIRDHAR, P *Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance*. 2004.

INMAN, Daniel J. *Engineering Vibration*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996. Xv, 560 p. ISBN 0-13-158531-9.

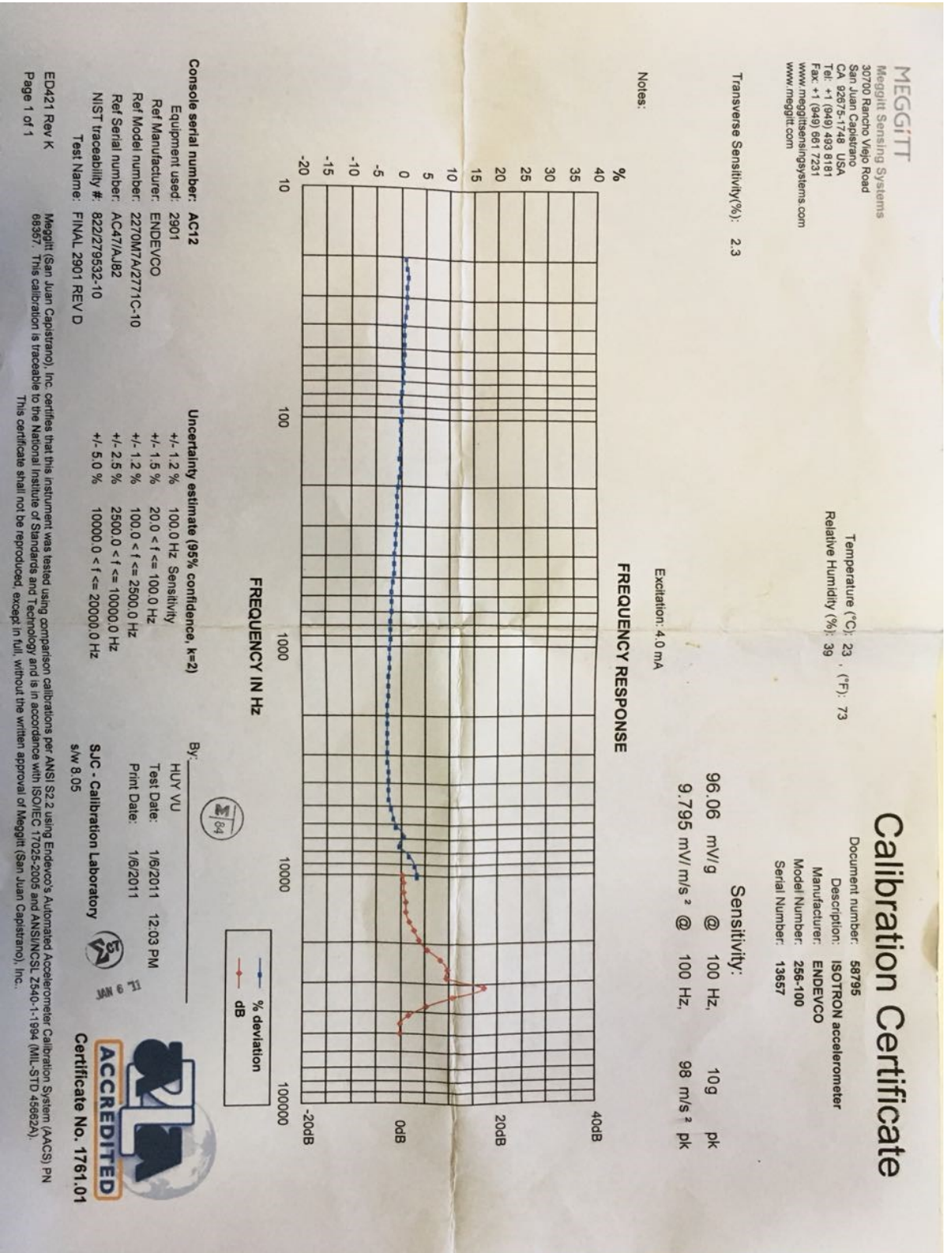
BISTURI. Cadeira de rodas em alumínio k2 – Ortobras. Disponível em: <<https://bisturi.com.br/locomocao/ortobras-cadeira-rodas-aluminio-k2/>>. Acesso em 28 de junho de 2018.

AJCBATTERY. Scooter Batteries. Disponível em: <<https://ajcbattery.com/products/scooter-batteries/>>. Acesso em 28 de junho de 2018.

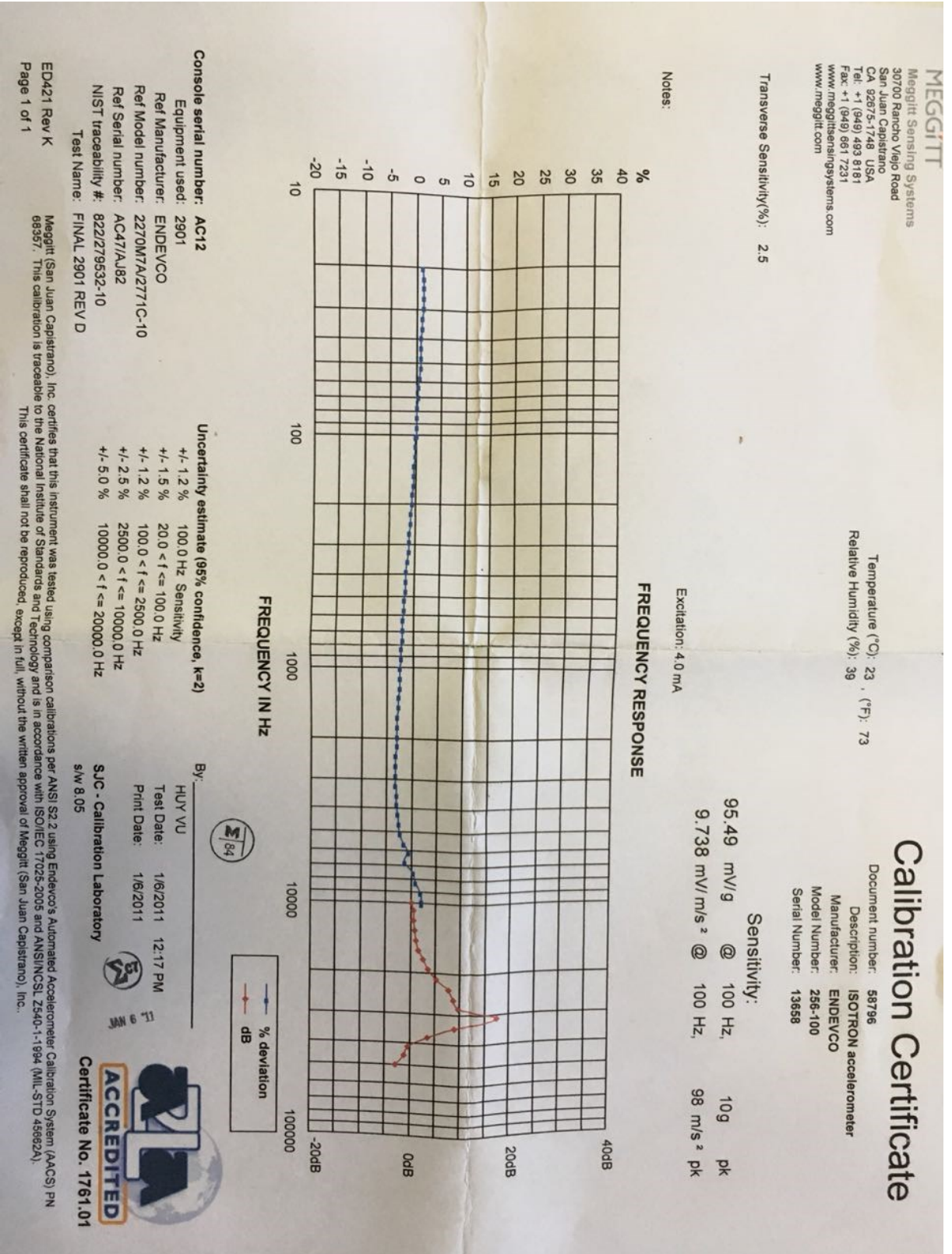
SHREVE, D. H. Signal processing for effective vibration analysis, n. November, 1995.

MATHURANATHAN V. FFT and Spectral Leakage. Disponível em: <https://www.gaussianwaves.com/?b2w=http://gaussianwaves.blogspot.com/2011/01/fft-and-spectral-leakage.html>. Acesso em 30 de maio de 2018.

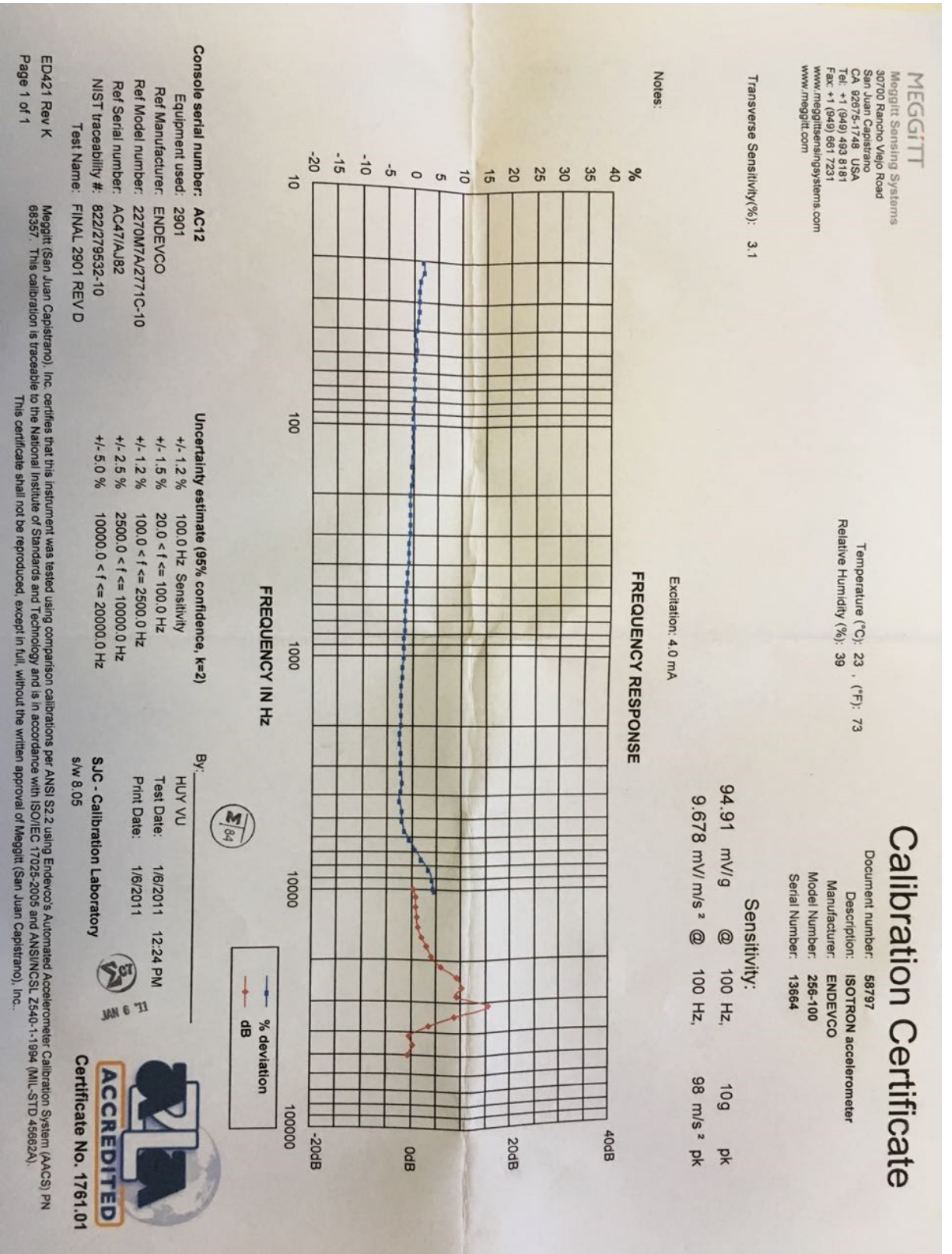
ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO ACELERÔMETRO 13657.



ANEXO B – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO ACELERÔMETRO 13658.



ANEXO C – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DO ACELERÔMETRO 13664.

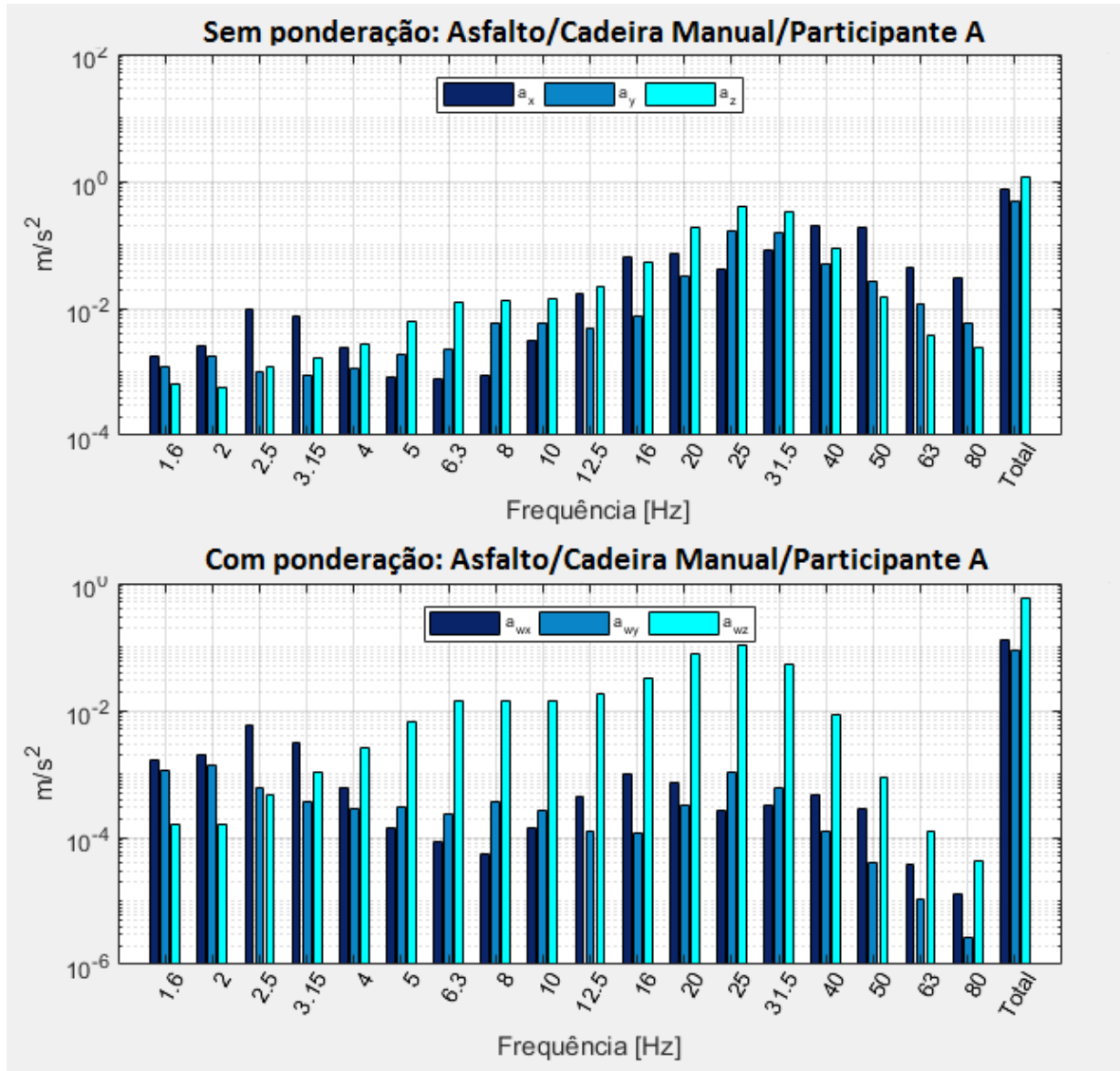


ANEXO D – TABELA 3 DA NORMA ISO-2631.

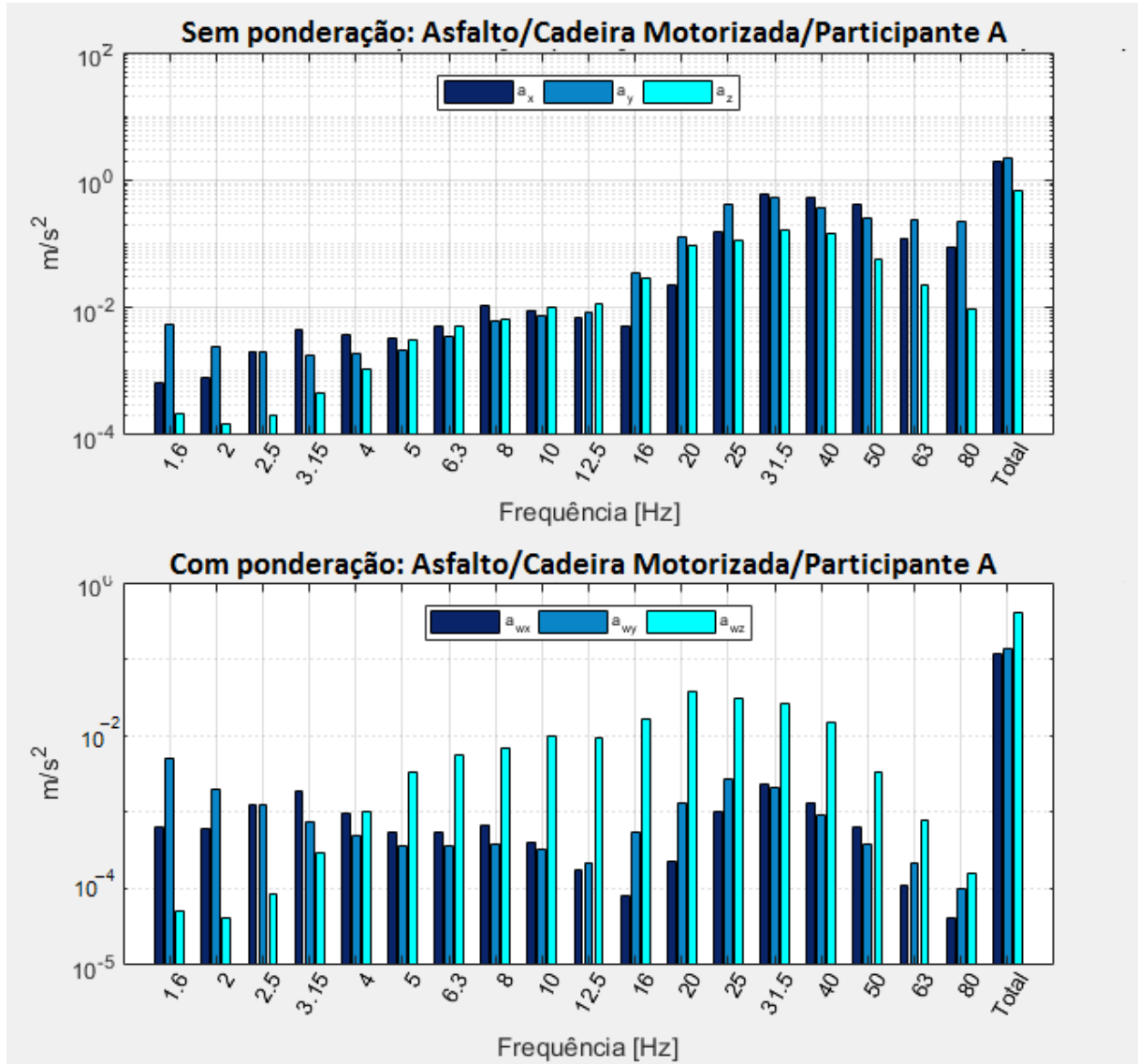
Table 3 — Principal frequency weightings in one-third octaves

Frequency band number ¹⁾ <i>x</i>	Frequency <i>f</i> Hz	<i>W_k</i>		<i>W_d</i>		<i>W_t</i>	
		factor × 1 (MVA)	dB	factor × 1 (MVA)	dB	factor × 1 (MVA)	dB
17	0,02					24,2	-32,33
16	0,025					37,7	-28,48
15	0,031 5					59,7	-24,47
14	0,04					97,1	-20,25
13	0,05					157	-16,10
12	0,063					267	-11,49
11	0,08					461	6,73
10	0,1	31,2	-30,11	62,1	-24,09	695	-3,16
9	0,125	48,6	-26,26	97,3	-20,24	895	-0,96
8	0,16	79,0	-22,05	158	-16,01	1 006	0,05
7	0,2	121	-18,33	243	-12,26	892	-0,07
6	0,25	182	-14,81	365	-8,75	854	-1,37
-5	0,315	263	-11,60	530	-5,52	619	-4,17
-4	0,4	352	0,07	713	2,04	384	6,31
-3	0,5	418	7,57	853	1,38	224	-13,00
-2	0,63	459	6,77	944	0,50	116	-18,69
-1	0,8	477	6,43	992	0,07	53,0	25,51
0	1	482	6,33	1 011	0,10	23,5	32,57
1	1,25	484	6,29	1 008	0,07	9,98	40,02
2	1,6	494	6,12	968	0,28	3,77	48,47
3	2	531	5,49	880	1,01	1,55	56,19
4	2,5	631	-4,01	776	2,20	0,64	63,93
5	3,15	804	1,90	642	3,95	0,25	71,96
6	4	967	0,29	512	5,82	0,097	80,26
7	5	1 039	0,33	409	7,76		
8	6,3	1 054	0,46	323	9,81		
9	8	1 036	0,31	253	11,93		
10	10	988	0,10	212	13,91		
11	12,5	902	-0,89	161	15,87		
12	16	768	-2,29	125	18,03		
13	20	636	-3,93	100	19,99		
14	25	513	-5,80	80,0	21,94		
15	31,5	405	-7,86	63,2	23,98		
16	40	314	-10,05	49,4	26,13		
17	50	246	-12,19	38,8	28,22		
18	63	186	-14,61	29,5	30,60		
19	80	132	-17,56	21,1	33,53		
20	100	89,7	-21,04	14,1	36,99		
21							
22							
23							
24							
25	315	3,98	-40,00	0,64	-63,92		
26	400	1,95	-54,20	0,31	-70,12		

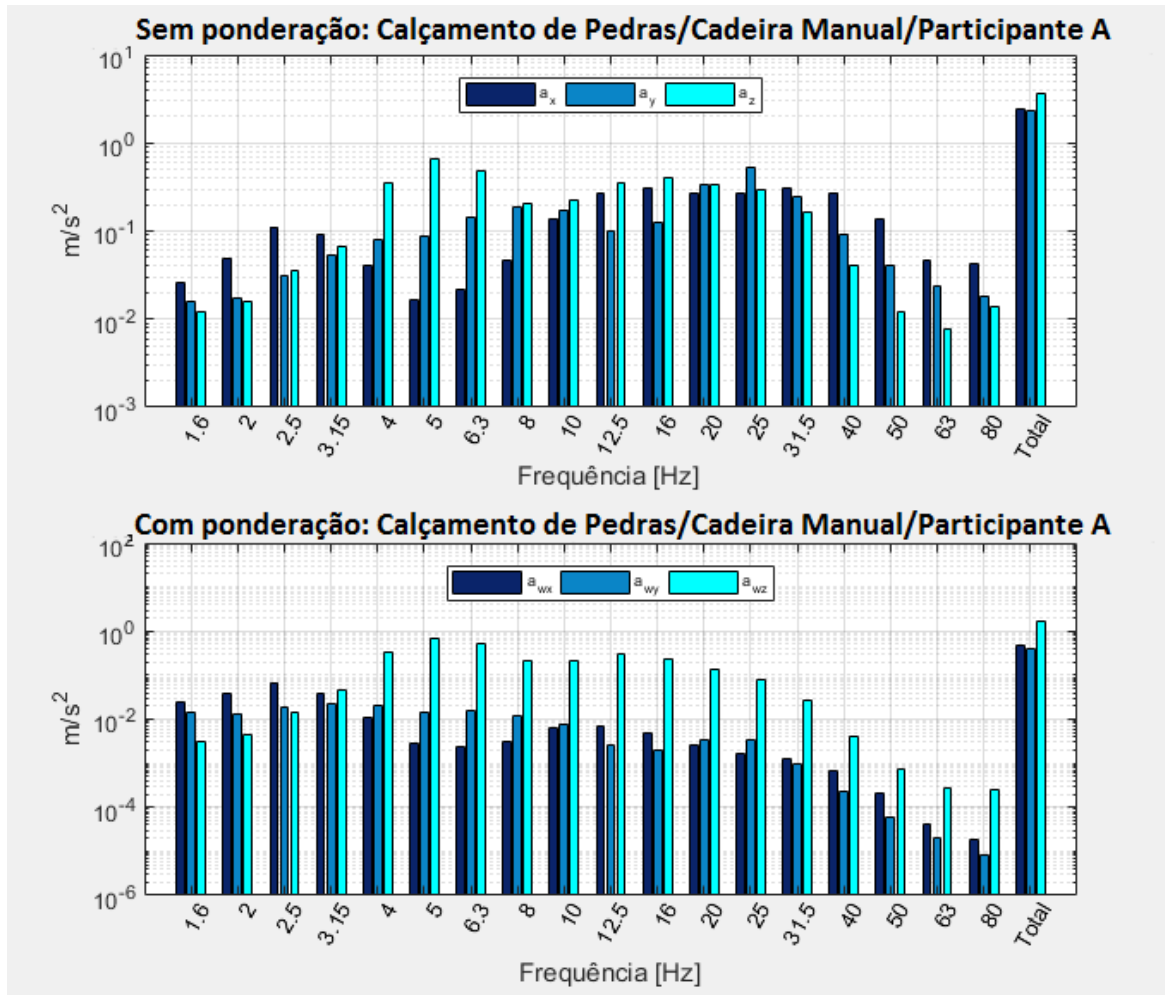
ANEXO E – RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO ASFALTO, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE A.



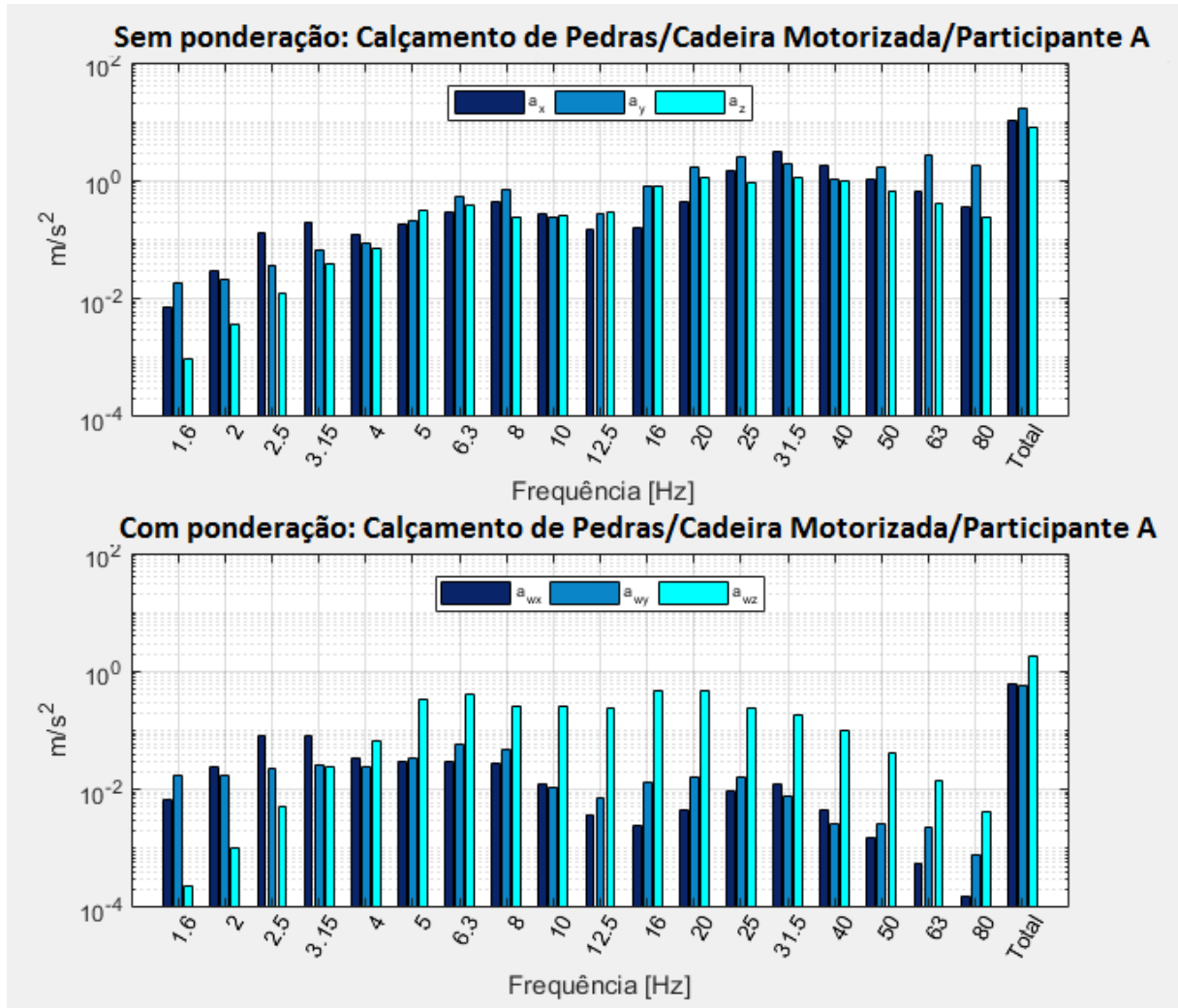
ANEXO F - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO ASFALTO, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE A.



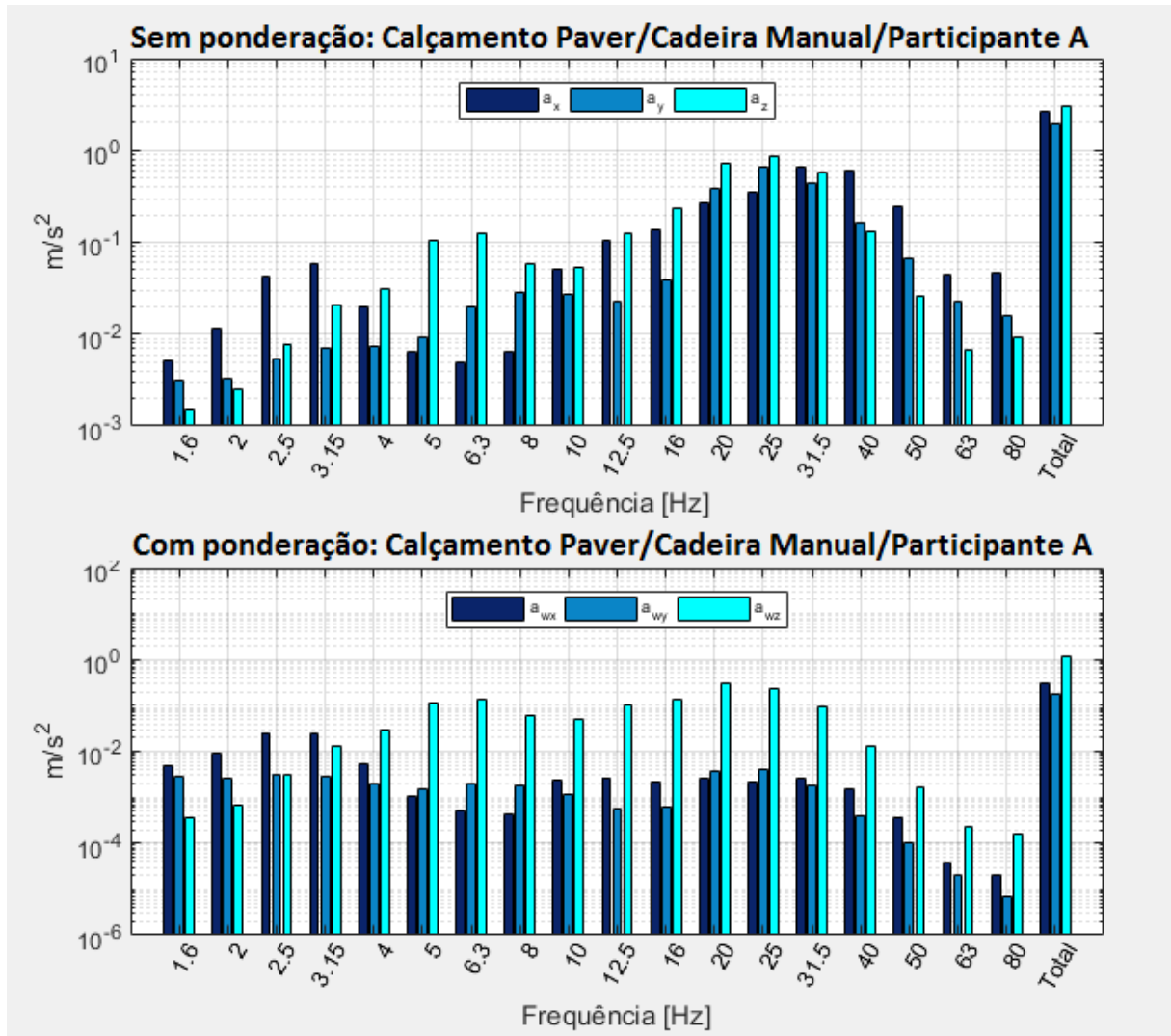
ANEXO G - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO DE PEDRAS, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE A.



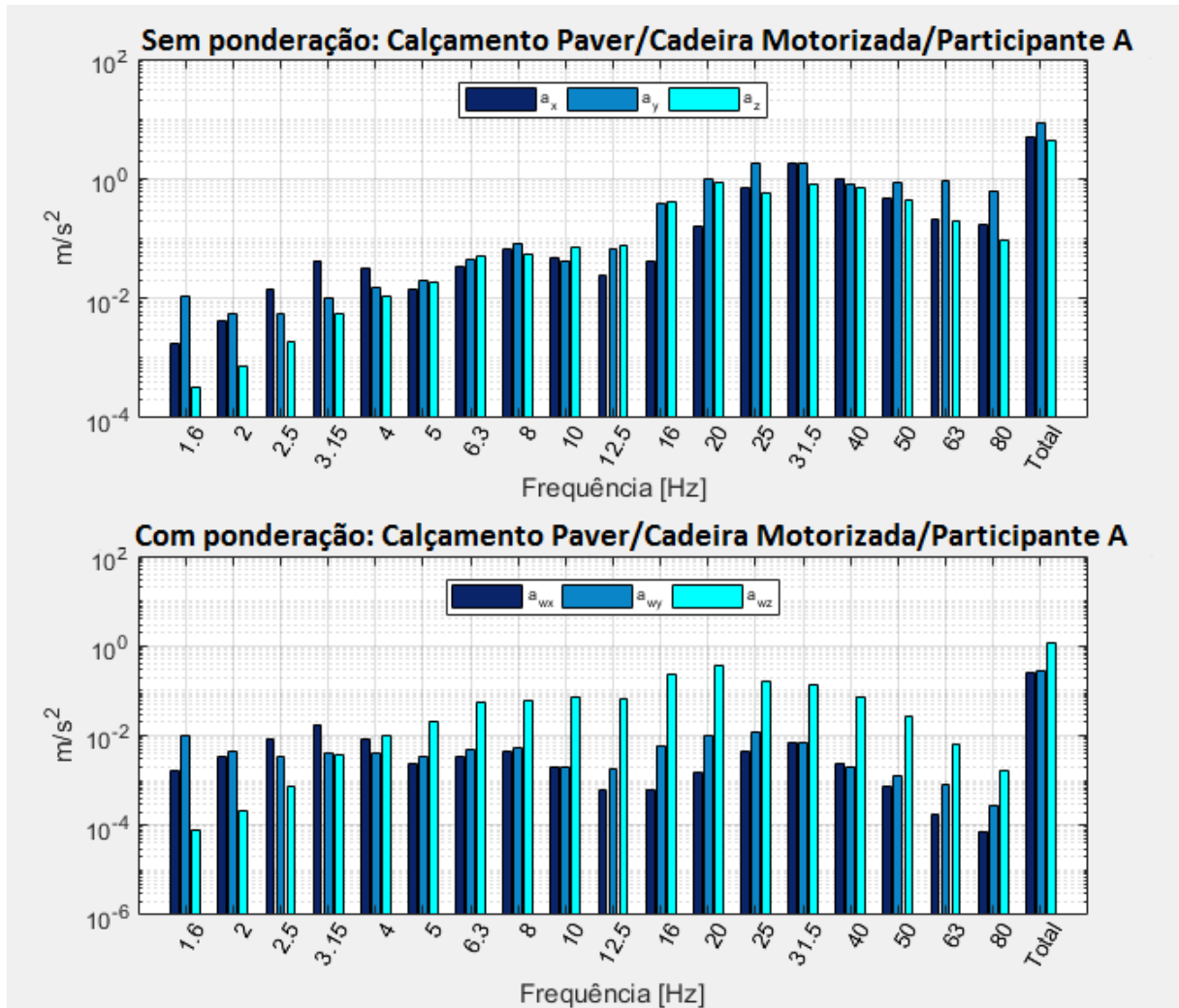
ANEXO H - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO DE PEDRAS, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE A.



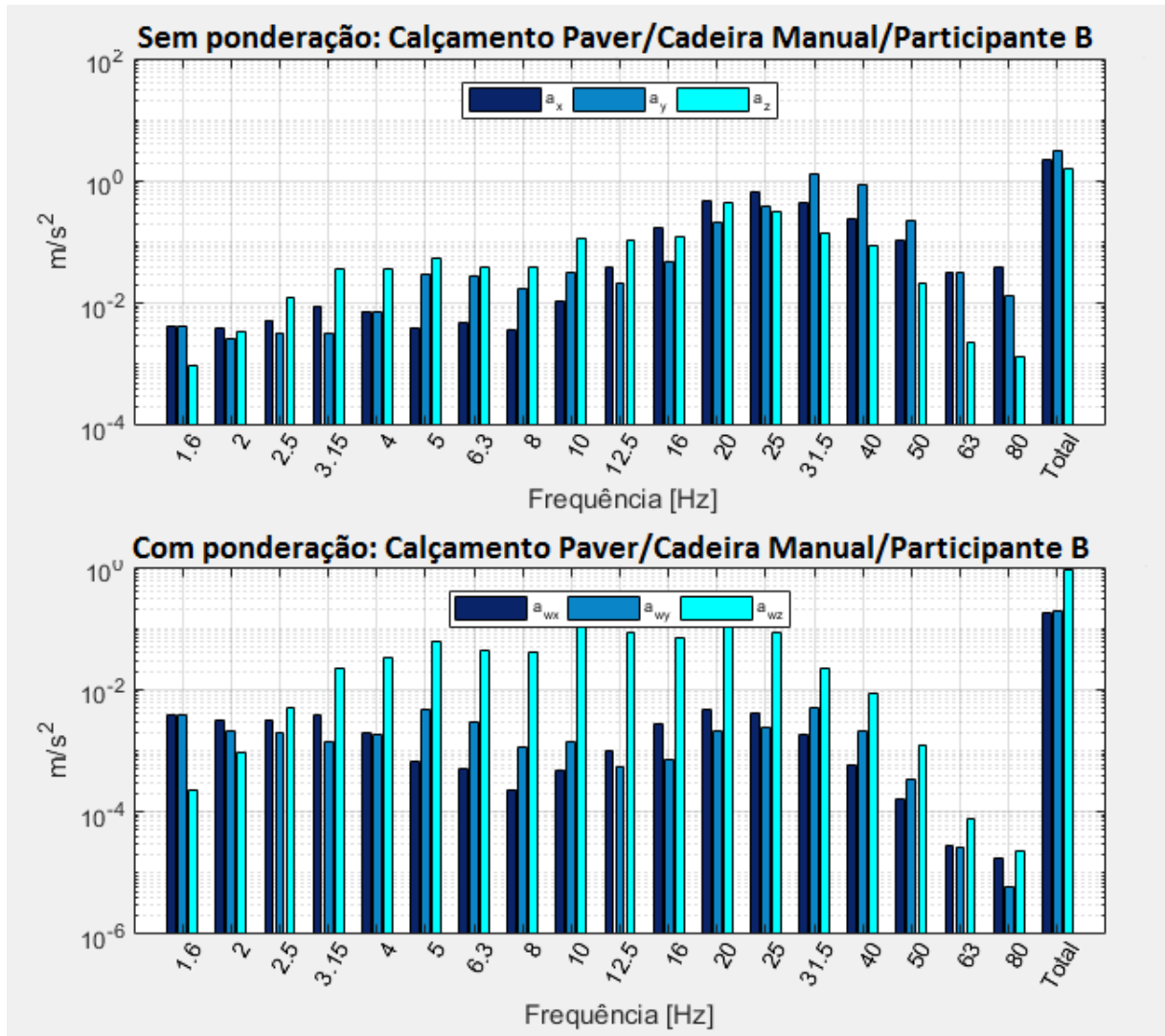
ANEXO I - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE A.



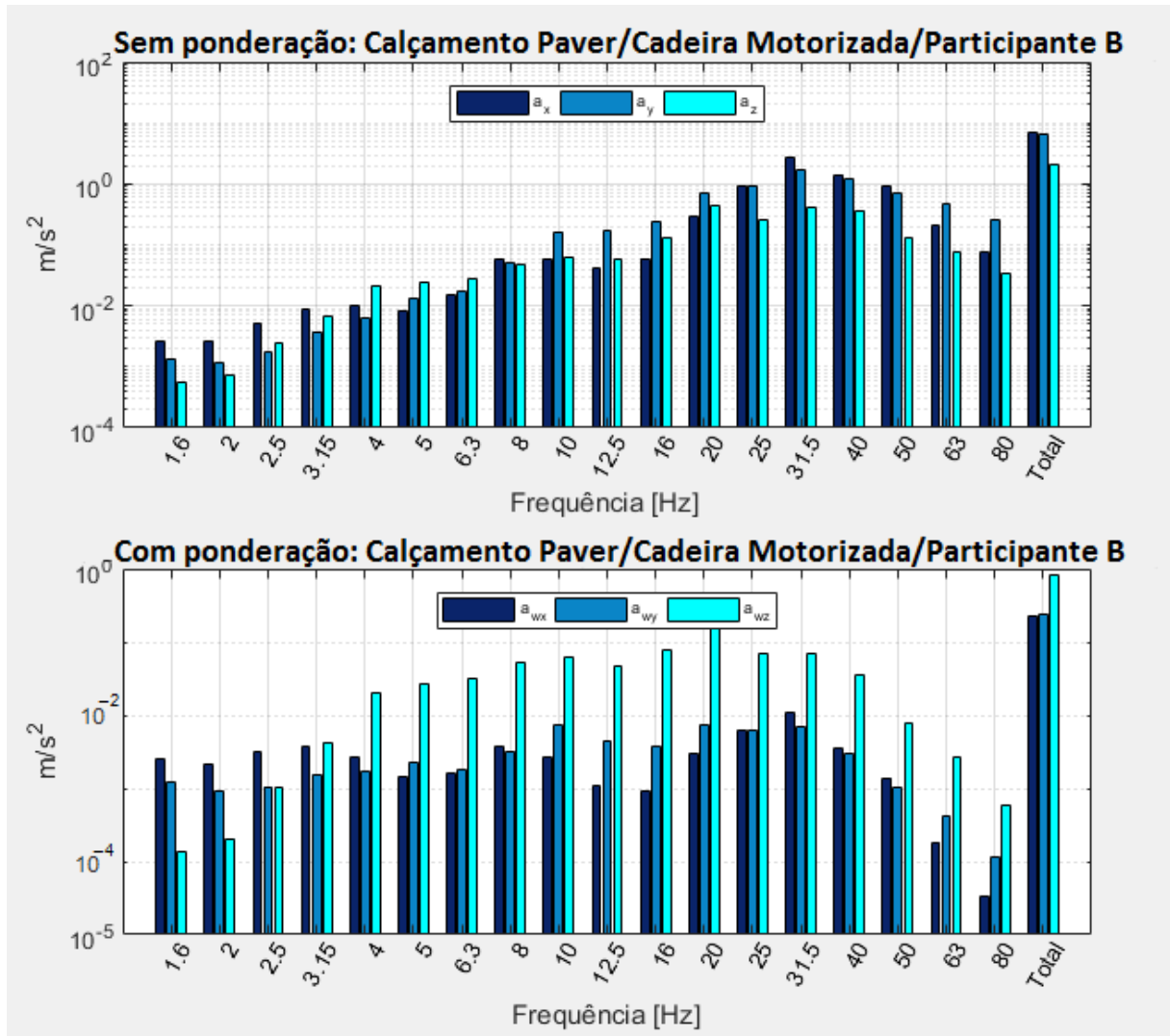
ANEXO J - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE A.



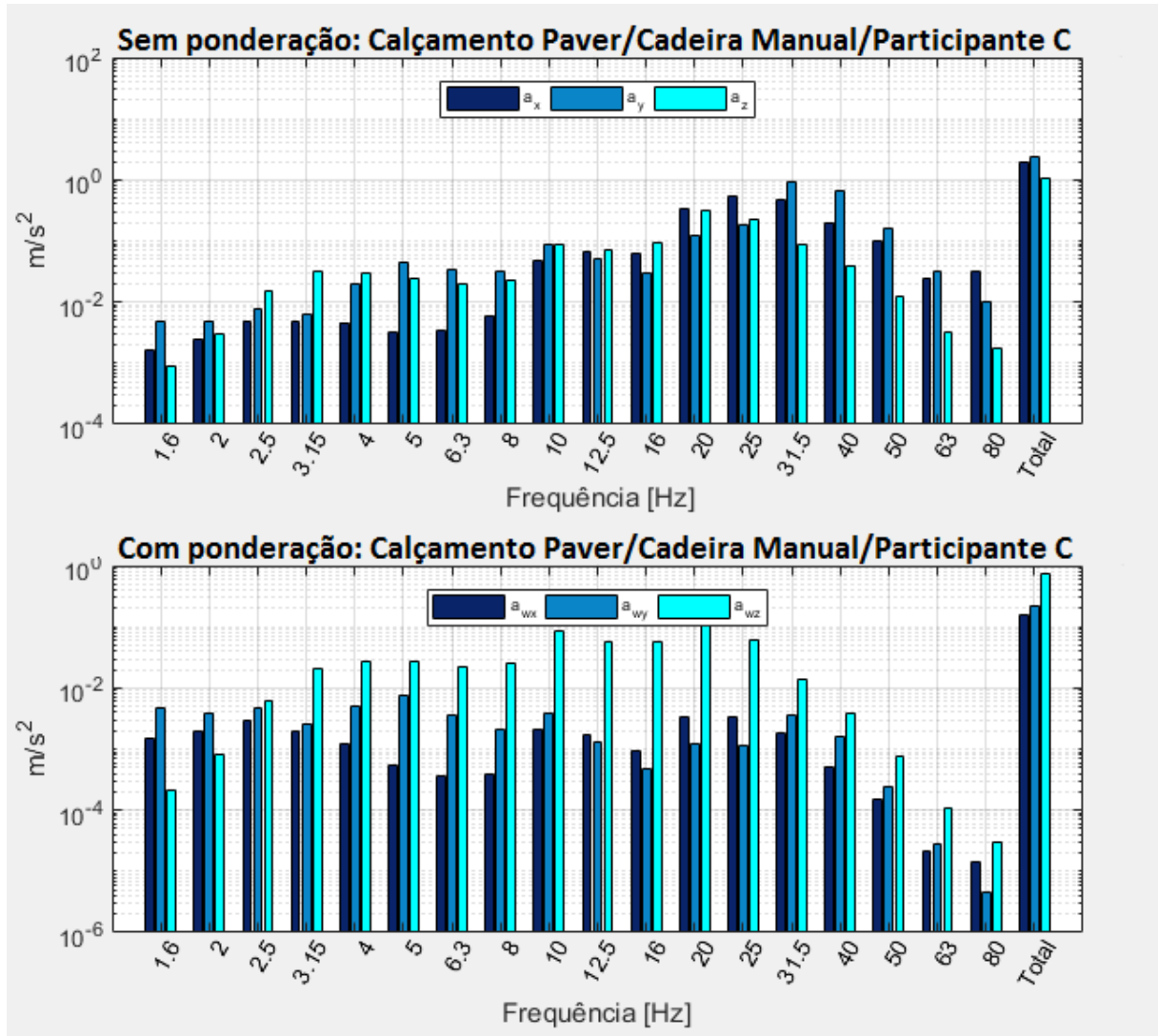
ANEXO K - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE B.



ANEXO L - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE B.



ANEXO M - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MANUAL E PARTICIPANTE C.



ANEXO N - RESULTADOS PARA A MEDIÇÃO NO PAVIMENTO CALÇAMENTO PAVER, CADEIRA MOTORIZADA E PARTICIPANTE C.

