



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI ÁRIDO

DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATEUS TITO FELIX

**ZONAS DE INFLUÊNCIA DAS VIBRAÇÕES ORIUNDAS DO TRÂNSITO MEDIDAS
COM EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO**

Angicos/RN
2020

MATEUS TITO FELIX

**ZONAS DE INFLUÊNCIA DAS VIBRAÇÕES ORIUNDAS DO TRÂNSITO MEDIDAS
COM EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Wendell Rossine Medeiros de Souza.

Angicos/RN
2020

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F316z Felix, Mateus Tito.
ZONAS DE INFLUÊNCIA DAS VIBRAÇÕES ORIUNDAS DO
TRÂNSITO MEDIDAS COM EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO /
Mateus Tito Felix. - 2020.
56 f. : il.

Orientador: Wendell Rossine Medeiros de Souza.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de , 2020.

1. Vibração. PVP. Distância. Aceleração. 2. PVP.
3. Distância. 4. Aceleração. I. de Souza, Wendell
Rossine Medeiros , orient. II. Título.

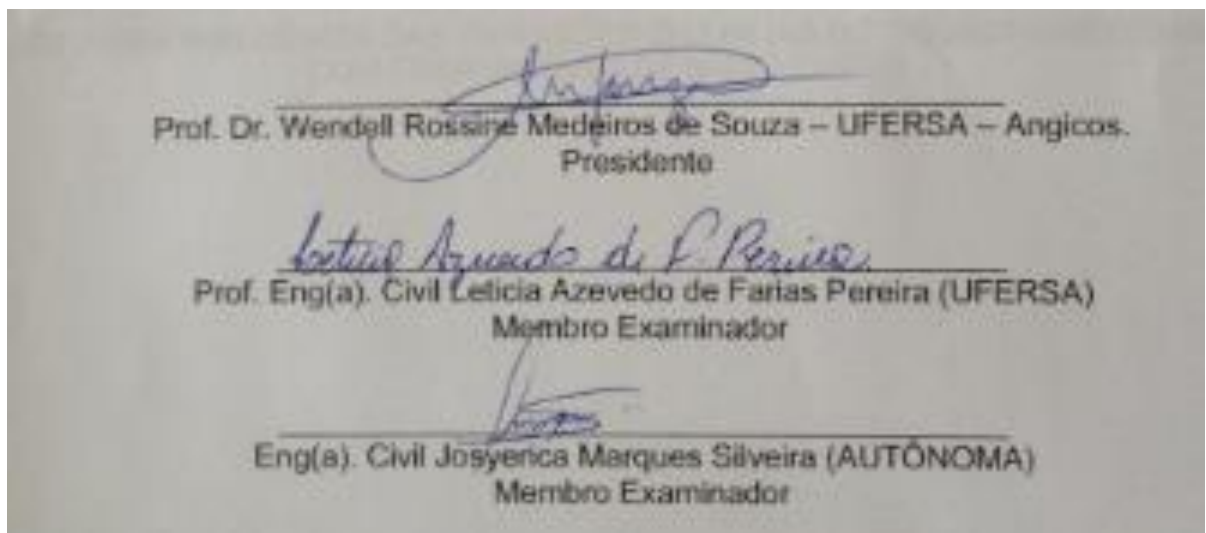
MATEUS TITO FELIX

**ZONAS DE INFLUÊNCIA DAS VIBRAÇÕES ORIUNDAS DO TRÂNSITO MEDIDAS
COM EQUIPAMENTO DE BAIXO CUSTO**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 29/ 01 / 2020.

BANCA EXAMINADORA



*Dedico primeiramente a **Deus** que está
acima de tudo na vida.*

*Aos meus **Pais e familiares** que
forneceram as bases para estar nessa
caminhada.*

*Aos meus amigos que sempre estavam
junto a mim para passar sobre as barreiras
da aprendizagem.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que sempre me deu força, saúde, inteligência, habilidades e perseverança para suportar momentos difíceis ao longo dessa caminhada e em todos os momentos da minha vida.

Aos meus pais, Marluce Maria Tito Felix e Cicero Felix da Silva, pelo apoio em todas as minhas escolhas, pelo carinho, amor e pôr está sempre do meu lado quando sempre precisei. Pela educação, me mostrando o certo e o errado e também me guiando para o caminho certo a ser seguido, e pelo esforço que faz para que pudesse atingir o meu objetivo.

À minha irmã, Ingred Meyrelles Tito Felix, pelo incentivo e apoio, e principalmente por ter paciência nos meus momentos de estresses.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Wendell Rossine Medeiros de Souza pela paciência, dedicação e compreensão durante a elaboração deste trabalho.

Aos membros da banca, pela disponibilidade e atenção em participar deste trabalho.

Aos meus amigos de Universidade Wallace Francisco, Helvis Dias, Mateus Araujo, Gutierrez Lima, Rogério Gondin, Emerson Bruno, Eugênio Cunha, Pedro barata, Kaio Fonseca, Cláudio Rafael, Niarkus Xavier, Luis, Paulo Rodolfo e outros que não lembrei no momento, pelo companheirismo, convivência e ajudas nessa jornada exaustiva.

“Vencer sem correr riscos, é triunfar sem glórias!”

Autor desconhecido

RESUMO

O presente trabalho origina-se da necessidade de entender como as estruturas se comportam quando estão próximas a fonte de vibração, devido ao processo de urbanização que ocorreu no Brasil, as edificações ficaram mais próximas de rodovias e ferrovias, por esse motivo as construções apresentam manifestações patológicas em decorrência dessa exposição. Para a realização da pesquisa foi utilizado um acelerômetro triaxial conectado a uma placa da plataforma “opensource” Arduino, o acelerômetro sobre um objeto sólido para captar o sinal emitido pelos veículos que trafegam no local estudado, essas medições ocorreram nas distâncias de 0 m 10 m e 20 m da rodovia. Os dados obtidos revelaram que na passagem de carros de passeio, em diferentes distâncias, provocam picos que aceleração e velocidade que reduzem de uma forma quase uniforme nas distâncias de 0 m a 10 m e na última medição a 20 m as vibrações sofrem uma redução mais intensa com perturbações pouco perceptíveis. Os dados obtidos revelaram que na passagem do ônibus em diferentes distâncias, provocam picos que aceleração e velocidade que reduzem de uma forma mais intensa nas distâncias de 0 m a 10 m e na última medição a 20 m as vibrações sofrem uma redução menos intensa com perturbações pouco perceptíveis, contudo ficou evidenciado que o gráfico obtido neste trabalho apresentou o comportamento similar ao registrado em outros trabalhos, dessa forma, pode-se afirmar que o equipamento apresentou o comportamento desejado, podendo ser utilizado para realizar medições a um baixo custo.

Palavras-chave: Vibração. PVP. Distância. Aceleração

ABSTRACT

The present work originates from the need to understand how the structures behave when they are close to the source of vibration, due to the urbanization process that occurred in Brazil, the buildings were closer to highways and railways, for this reason the constructions present manifestations pathological as a result of this exposure. To perform the research, a triaxial accelerometer connected to a plate of the Arduino "open source" platform was used, the accelerometer on a solid object to capture the signal emitted by the vehicles that travel in the studied location, these measurements occurred at distances of 0 m 10 m 20 m from the highway. The obtained data revealed that when passing passenger cars, at different distances, they cause peaks that acceleration and speed that reduce in an almost uniform way in the distances from 0 m to 10 m and in the last measurement to 20 m the vibrations are reduced more intensely with barely noticeable disturbances. The data obtained revealed that when the bus passes at different distances, they cause peaks that acceleration and speed that reduce more intensely in the distances from 0 m to 10 m and in the last measurement at 20 m the vibrations are less intensely reduced with barely noticeable disturbances However, it was evidenced that the graph obtained in this work presented the behavior similar to that registered in other works, thus, it can be said that the equipment presented the desired behavior, being able to be used to perform measurements at a low cost.

Keywords: Vibration. PVP. Distance. Acceleration

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1 – Carro a 0 metros da fonte	29
Grafico 2 – Carro a 0 metros da fonte_.....	30
Grafico 3 – Carro a 0 metros da fonte_.....	31
Grafico 4 – Carro a 10 metros da fonte_.....	32
Grafico 5 – Carro a 10 metros da fonte	33
Grafico 6 – Carro a 10 metros da fonte	34
Grafico 7 – Carro a 20 metros da fonte	35
Grafico 8 – Carro a 20 metros da fonte_.....	36
Grafico 9 – Carro a 20 metros da fonte	37
Grafico 10 – Bar em Lajes Pintadas	38
Grafico 11 – Ônibus a 0 metros da fonte.....	39
Grafico 12 – Ônibus a 0 metros da fonte_.....	40
Grafico 13 – Ônibus a 0 metros da fonte.....	41
Grafico 14 – Ônibus a 10 metros da fonte.....	42
Grafico 15 – Ônibus a 10 metros da fonte	43
Grafico 16 – Ônibus a 10 metros da fonte.....	44
Grafico 17 – Ônibus a 20 metros da fonte_.....	45
Grafico 18 – Ônibus a 20 metros da fonte_.....	46
Grafico 19 – Ônibus a 20 metros da fonte	47
Grafico 20 – Aceleração do ônibus com a distância.....	48
Grafico 21 – Resultante da aceleração do carro com a distância	49
Grafico 22 – Resultante da aceleração do Ônibus em função da distância	50
Grafico 23 – PVP do carro em função da distância.....	51
Grafico 24 – PVP do Ônibus em função da distância.....	52

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pontos para aferição da vibração.....	15
Figura 2 – Resultados da medição no Ponto “A”	15
Figura 3 – Resultados da medição no Ponto “B”	15
Figura 4 – Decaimento da PVP gerada pela passagem de uma composição férrea com o aumento da distância.....	16
Figura 5 – Limites de PVP (mm/s) para a integridade da estrutura	18
Figura 6 – Limites de PVP (mm/s) para a incomodidade de acordo com o tipo edificação	19
Figura 7 – Limites de PVP (mm/s) para a incomodidade de acordo com a edificação	20
Figura 8 – Valores instantâneos da PVP em função do tempo obtido no solo arenoso	22
Figura 9 – Valores instantâneos da PVP em função do tempo obtido no solo argiloso	22
Figura 10 – Setor administrativo da UFERSA Angicos.....	24
Figura 11 – Croqui do local da medição.	25
Figura 12 – Exemplo de conexão entre Arduino e acelerômetro.....	27
Figura 13 – Código para o funcionamento do Arduino	28

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVO GERAL	12
1.1.1	Objetivo específico	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	VIBRAÇÕES EM MEIO URBANO	14
2.2	PICO DE VELOCIDADE DE PARTÍCULA	17
2.3	PVP E INCÔMODO	20
2.4	PVP E O TIPO DO SOLO	20
2.5	PESQUISAS REALIZADAS SOBRE O TEMA	21
2.6	ARDUINO	22
3	METODOLOGIA	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1	ACELERAÇÃO DO CARRO DE PASSEIO EM FUNÇÃO DO TEMPO	29
4.1.1	Carro a 0 metros da fonte	29
4.1.2	Carro a 10 metros da fonte	31
4.1.3	Carro a 20 metros da fonte	34
4.2	ACELERAÇÃO DO ÔNIBUS EM FUNÇÃO DO TEMPO	37
4.2.1	Ônibus a 0 metros da fonte	37
4.2.2	Ônibus a 10 metros da fonte	40
4.2.3	Ônibus a 20 metros da fonte	44
4.3	ACELERAÇÃO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA	46
4.4	PVP DETECTADO NO LOCAL DA MEDIÇÃO	50
5	CONCLUSÕES	54
	BIBLIOGRAFIA	55

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento das cidades, começaram a aparecer diversos problemas provenientes de incômodos gerados pelas vibrações no meio urbano tais como problemas nas estruturas dos edifícios, incômodos gerados pelas vibrações dentro das residências e problemas acústicos causados por oscilações induzidas pelas atividades humanas (BRITO, 2014).

As vibrações, quando acima dos limites estabelecidos por normas, provocam incômodos e problemas nas edificações como manifestações patológicas nos revestimentos e trincas nos locais onde o solo apresenta uma baixa resistência (Deutsches Institut für Normung DIN 4150-3, 1999).

O estudo sobre as vibrações produzidas por veículos surgiu da necessidade de obter respostas sobre como as estruturas se comportam quando estão submetidas a diferentes frequências de vibrações. No meio urbano, as edificações estão mais próximas de rodovias, principalmente em cidades de grande porte, essas vibrações podem causar desde incômodos a manifestações patológicas na edificação. As edificações mais antigas e com materiais de baixa resistência tendem a sofrer mais com as vibrações (BRITO, 2013).

De acordo com “British Standard” (BS 7385-1,1990) um dos fatores que influenciam a intensidade das vibrações, um deles o tipo de pavimento, pavimentos feitos de paralelepípedo geram mais vibrações do que pavimentos com revestimento em Cimento Asfáltico de Petróleo. Essa diferença da intensidade das vibrações ocorre porque o revestimento em CAP provoca menos impacto entre os amortecedores dos veículos, assim atenuando as vibrações.

1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo verificar a aceleração induzida por veículos que trafegam na rodovia localizada em frente ao setor Administrativo da UFRSA Campus Angicos, verificando como os tipos de veículos afetarão as medições obtidas pelo equipamento de baixo custo.

1.1.1 Objetivo específico

Verifica como a aceleração causada pelo Ônibus da UFRSA se comporta em função das distâncias de 0m, 10m e 20m, para entender como ocorre o

amortecimento após a passagem desse veículo.

Verificar como a aceleração causada pelo carro de passeio da UFERSA se comporta em função das distâncias de 0m, 10m e 20m, para entender como ocorre o amortecimento após a passagem desse veículo.

Elaborar gráficos para comparar com outros trabalhos realizados nessa área de pesquisa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 VIBRAÇÕES EM MEIO URBANO

A composição das cidades em meio a rodovias, as vibrações decorrentes desse tráfego, tem gerado desde problemas estruturais a incomodidade. Esse incômodo gerado pelas vibrações pode ser reduzido com o distanciamento da edificação do ponto onde está sendo gerado essas vibrações (BRITO, 2013). De acordo com Brito (2013):

O citado adensamento urbano provoca a redução desse recuo, a fim de aumentar a área ocupada dos terrenos, ou para a abertura e alargamento de ruas e avenidas, ou para a ocupação de faixas de domínio de antigas ferrovias, fato recorrente em várias cidades no Brasil, de modo que a principal forma de atenuação dos efeitos da vibração é reduzida ou definitivamente descartada. (BRITO, Luiz Antonio; DE SOUZA SOARES, Álvaro Monoel; NAZARI, Bianca. 2013, Pág.130)

Quando as cidades foram mais densamente povoadas, as construções passaram a ser mais próximas as rodovias gerando impacto nas construções desde incômodos gerados pela vibração a danos estruturais (BRITO, 2013).

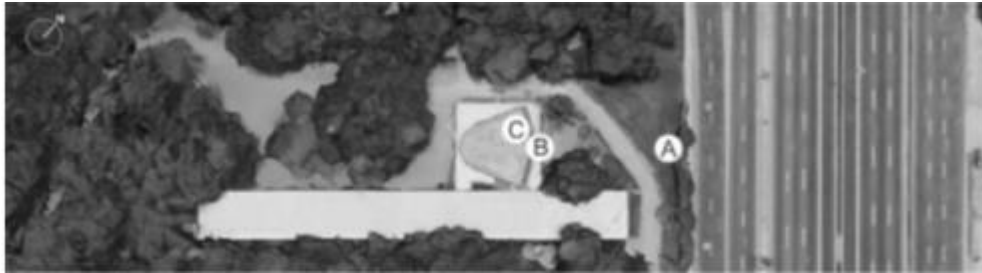
Para caracterizar os possíveis danos causados nas edificações temos a norma Deutsches Institut für Normung (DIN 4150-3, 1999): “A vibração induzida nas edificações pode gerar danos estruturais em algumas situações e apenas a incomodidade em outras. As construções que possuem estrutura em aço ou concreto armado tendem a receber melhor os efeitos da vibração.”

As construções mais antigas com alvenarias menos resistentes, como tijolos de barro, podem sofrer com manifestações patológicas como trincas e rachaduras, que podem ser permanentes (DIN 4150-3, 1999).

Essas ondas tendem a se atenuar quando se afastam do ponto de origem, pois tem uma área maior para percorrer, atenuando os seus efeitos. De acordo com Chaves et al. (2009) quando ocorre um incremento de área para a onda percorrer, ela tem a sua intensidade reduzida devido a diminuição da densidade da sua energia.

Esse comportamento também foi encontrado no artigo de Gevú, Silvos e Varela (2018), quando mediram as vibrações no ponto “A” (Limite do terreno) e no ponto “B” (passarela em frente ao painel de azulejos) na figura a seguir:

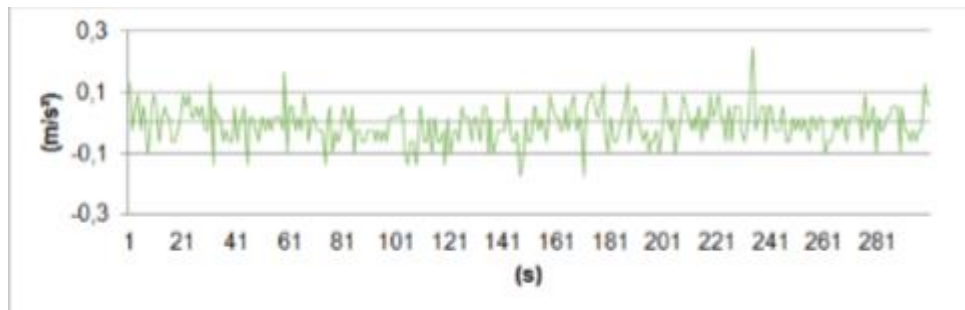
Figura 1: Pontos para aferição da vibração.



Fonte: Gevú, Silvoso e Varela (2018).

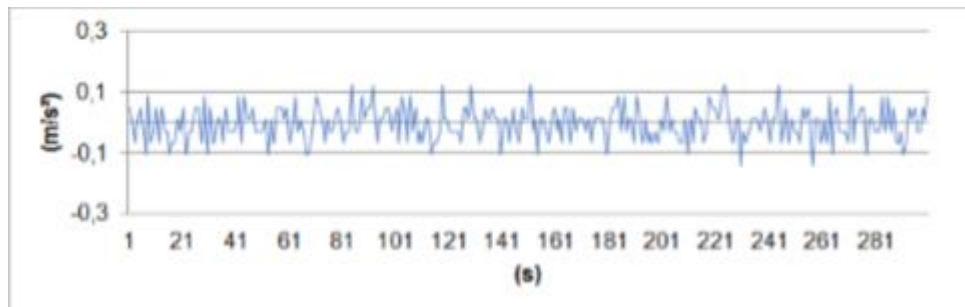
Com a demarcação desses pontos foi feita a aferição e demonstrada nas Figuras 2 e 3.

Figura 2: Resultados da medição no Ponto “A”.



Fonte: Gevú, Silvoso e Varela (2018).

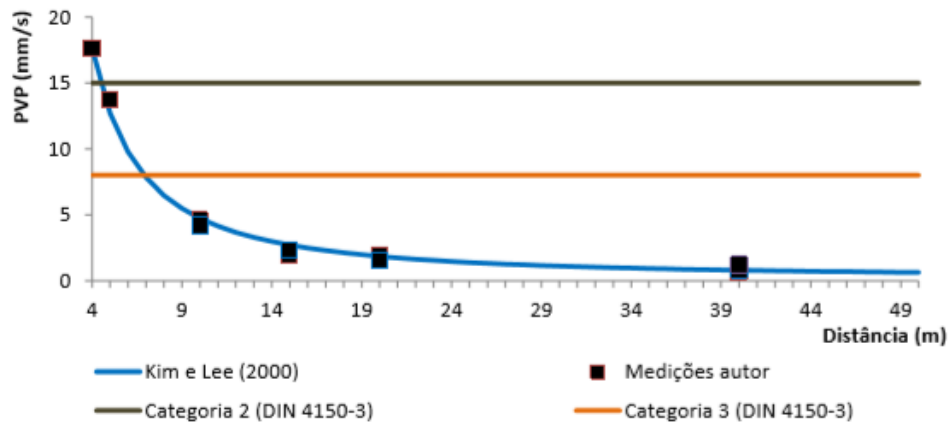
Figura 3: Resultados da medição no Ponto “B”.



Fonte: Gevú, Silvoso E Varela (2018).

Na Figura 3, Brito (2014) compilou os dados de Pico de Velocidade de Partícula em função da distância, mostrando como ocorre a redução da vibração quando ocorre o incremento de distância da fonte com o receptor de vibração.

Figura 4: Decaimento da PVP gerada pela passagem de uma composição férrea com o aumento da distância.



Fonte: Brito (2014).

As principais origens de vibração no meio urbano são provenientes do elevado tráfego de veículos pesados ou composições ferroviárias, que atravessam áreas densamente povoadas. Essas vibrações geradas podem afetar as fundações de edifícios próximos (BRITO, 2013). Essas vibrações são função da velocidade dos veículos, do seu peso e das condições da pavimentação. Segundo a BS 7385-1 (1990), A má conservação do pavimento gera um maior impacto nas suspensões dos veículos, provocando um maior efeito vibratório.

Segundo Brito (2014), pavimentos irregulares, como os prismáticos com rochas ígneas, são os que geram mais energia vibratória, sendo a pavimentação com CAP, feita da forma correta, uma boa forma de reduzir as vibrações induzidas por tráfego rodoviário.

De acordo com Chaves et al. (2009), as vibrações produzidas por composições ferroviárias apresentam comportamento semelhante ao tráfego rodoviário. Com respeito aos fatores que levam as vibrações, a forma mais comum de reduzir os incômodos causados pelo tráfego rodoviário é criar uma zona de influência de pelo menos 30m de largura.

Segundo a norma BS 5228-2 (2009), as vibrações geradas pelo tráfego rodoviário e ferroviário é aleatória, sendo influenciada pelo peso e velocidade dos veículos e da condição do pavimento. As atividades exercidas pela construção civil como detonação de explosivos, cravação de estacas e rompedores de concreto. A energia vibratória gerada pelos explosivos é influenciada pela carga utilizada na

detonação. Na cravação de estacas o seu diâmetro, sua massa e a altura de queda do martelo, são fatores que influenciam na vibração.

A energia vibratória que tem origem em meios urbanos é consideravelmente superior a energia proveniente da natureza. Como explica a ISO 4866 (1990) as vibrações oriundas de ambiente urbanos possuem uma faixa de frequência de 1 Hz a 150 Hz; no entanto as vibrações de origem natural estão contidas na faixa de 0,1 Hz a 30 Hz, este último para terremotos, para as cargas de vento tem faixa de 0,1 Hz a 2 Hz para edifícios altos.

Ainda de acordo com essa norma a forma que uma edificação recebe as vibrações é feita pela fundação, que é responsável por distribuir as cargas do edifício para o solo, quando o efeito ocorre da forma inversa, o solo transmite a vibração para a fundação, essa energia é transmitida para a edificação.

Essa norma ainda diz que essa vibração provoca deslocamentos na fundação, que será transmitido para a estrutura da edificação, depois para o piso e as paredes. A forma que a edificação responde a esse estímulo vai depender da frequência natural dos seus materiais, dos seus modos de vibração e amortecimento.

2.2 PICO DE VELOCIDADE DE PARTÍCULA

Conforme Attewell; Selby; Uromeihy (1989), o pico de velocidade de partícula (PVP) indica o valor máximo de movimento de uma partícula em um meio seja uma superfície ou uma estrutura. Na Figura 5 tem a tabela mostrando quais os valores máximos de PVP para evitar danos estruturais.

Conforme Brito (2013). O efeito de diferentes fontes de vibração, em frequências diferentes, pode reduzir a capacidade da estrutura de amortecer essa energia vibratória. Para efetuar a análise das vibrações, em uma edificação, considera-se o pico de velocidade da partícula, denominado PVP (mm/s).

Figura 5: Limites de PVP (mm/s) para a integridade da estrutura.

Categoria	Tipos de edificação	PVP (mm/s) Todas as frequências	PVP (mm/s) < 10 Hz	PVP (mm/s) 10 - 50 Hz	PVP (mm/s) 50 - 100 Hz
1	Edificações de concreto armado e de madeira em boas condições	40	20	20 a 40	40 a 50
2	Edificações em alvenaria em boas condições	15	5	5 a 15	15 a 20
3	Edificações de alvenaria em más condições de conservação e edificações consideradas de patrimônio histórico	8	3	3 a 8	8 a 10

Fonte: DIN 4150-3 (1999).

Segundo a BS 5228-2 (1990), quando uma edificação está sujeita a vibrações constantes, com possibilidade de acoplamento estrutural, é necessário minorar o critério adotado em 50%.

Ainda de acordo com a norma, os valores aceitáveis de PVP em paredes de alvenaria são de 10 mm/s na base da parede e 40 mm/s no topo, em paredes ancoradas na estrutura ou com grande massa o PVP máximo pode ser considerado de 50% a 100% maior que os valores anteriores, sendo também considerado o mesmo valor para paredes de concreto armado.

Contudo essa norma ainda diz que, quando a fonte de vibração é constante ou a edificação possuir paredes mal conservadas, o valor limite pode ser minorado em 1,5 a 2,5 vezes do valor de referência.

A norma DIN 4150-3 (1999), estabelece o valor máximo de PVP de acordo com o tipo de edificação onde podem ser separadas em 3 categorias de acordo com o seu material e o seu estado de conservação.

Ainda de acordo com essa norma, a categoria 1 são estruturas de concreto armado em boas condições tem o PVP máximo de 40 mm/s, a categoria 2 abrange as edificações de alvenaria em boas condições com PVP máximo de 15 mm/s e a categoria 3 comporta as casas de alvenaria em más condições com PVP máximo de 8 mm/s. A Figura 6 mostra os valores de PVP limites de acordo com o tipo de edificação.

Figura 6: Limites de PVP (mm/s) para a incomodidade de acordo com o tipo edificação.

Tipos de Edificação	PVP (mm/s)
Categoria 1, edificações de concreto armado e de madeira em boas condições	40
Categoria 2, edificações de alvenaria em boas condições	15
Categoria 3, edificações de alvenaria em más condições de conservação e edificações consideradas de patrimônio histórico	8

Fonte: DIN 4150-3 (1999).

Conforme Attewell; Selby e Uromeihy (1989), o PVP é analisado pelo vetor resultante dos vetores ortogonais (X,Y,Z), em função do tempo, porém há casos em que a velocidade em pontos de uma estrutura necessita de monitoramento de eixos determinados.

Segundo François et al. (2007), quando temos uma estrutura rígida sob efeito de vibrações apoiada em um solo que tem pouco amortecimento, os deslocamentos provocados nessas paredes são quase zero, porque o corpo rígido suporta essas vibrações em frequências mais baixas, evitando manifestações patológicas nas paredes.

Ainda de acordo com esse autor, nas estruturas mais flexíveis apoiadas em solos rígidos, os deslocamentos na interface de contato entre as fundações e o solo são praticamente nulos, porém as paredes da edificação acompanham a movimentação do solo, resultando em manifestações patológicas.

De acordo com a BS 7385-1 (1993), a frequência oriunda da onda vibratória que se propaga pelo maciço de solo, deve ser considerada, porque os componentes da edificação como forros, paredes e pisos tem frequências naturais maiores que a frequência da estrutura, sofrendo maior influência da vibração, principalmente a vibração contínua que gera fadiga, devido ao baixo amortecimento.

De acordo com a ISO 4866 (1990), quando a frequência de vibração da onda vibratória é similar a frequência de ressonância da estrutura, ocorrerá um maior deslocamento da interface de fundação com o solo, provocando um impacto indesejado. As edificações com até 12 metros de altura, o primeiro modo de vibração fica na faixa de 4 Hz a 15 Hz e a frequência da onda vibratória, oriunda de tráfego rodoviário e ferroviário, está compreendida na faixa de 1 Hz a 80 Hz.

2.3 PVP E INCÔMODO

Segundo a norma BS 5228-2 (2009), as consequências da vibração podem ser mensuradas pelo critério da incomodidade. Um valor do PVP de 0,14 mm/s, a vibração é pouco perceptível no ambiente residencial, o PVP com valor superior a 0,3 mm/s a vibração já é perceptível em ambiente residencial.

Ainda de acordo com essa norma, quando as vibrações em um ambiente atingem 1 mm/s, elas podem gerar reclamações. Quando o PVP atinge 10 mm/s, a vibração é insuportável mesmo em uma exposição breve. A Figura mostra os valores de PVP limites de acordo com o tipo de edificação.

De acordo com a ISO 2631-2 (2003), a vibração poderá ser insuportável para os usuários da edificação devido a sensação de movimento, que prejudica algumas atividades diárias, como diálogos e sono. Na Figura 7 tem os limites de vibração para a incomodidade.

Figura 7: Limites de PVP (mm/s) para a incomodidade de acordo com a edificação.

Tipos de edificação	PVP (mm/s) -Diurno	PVP (mm/s) - Noturno
Hospitais	0,10	0,10
Residências	0,40	0,14
Escritórios	0,40	0,40
Oficinas	0,80	0,80

Fonte: ISO 2631-2 (1993).

Conforme a norma BS 5228-2 (2009), objetos eletrônicos de precisão também são prejudicados pela vibração, tendo o seu funcionamento prejudicado e a sua vida útil reduzida. Locais como Hospitais, Laboratórios de pesquisa e instalações industriais com materiais eletrônicos de precisão, são locais onde pequenas vibrações, que os seres humanos não sentem, devem ser evitadas.

Ainda segundo a norma o laboratório com microscópios ópticos e salas de metrologia devem ter um PVP máximo de 0,05 mm/s, salas de microcirurgias neurológicas devem ter um PVP máximo de 0,025 mm/s.

2.4 PVP E O TIPO DO SOLO

Segundo Chaves et al. (2009), A propagação das ondas vibratórias pelo solo é influenciada por seu tipo e a principal forma de reduzir a sua intensidade é aumentando a distância do seu ponto de origem, assim ocorre o acréscimo de área para a onda percorrer dessa forma reduzindo a densidade dessa energia.

Segundo a BS 7385-1 (1993), o tipo do solo também influencia na propagação e redução da energia vibratória da mesma forma que a distância da fonte de vibrações com o receptor. As ondas que se formam no solo dependem de sua fonte de emissão, tráfego ferroviário ou rodoviário, sendo em sua maioria ondas de compressão ou cisalhamento, porém quando estão próximas a sua fonte de emissão elas se transformam em ondas de “Rayleigh”, quando refletidas pela superfície do solo.

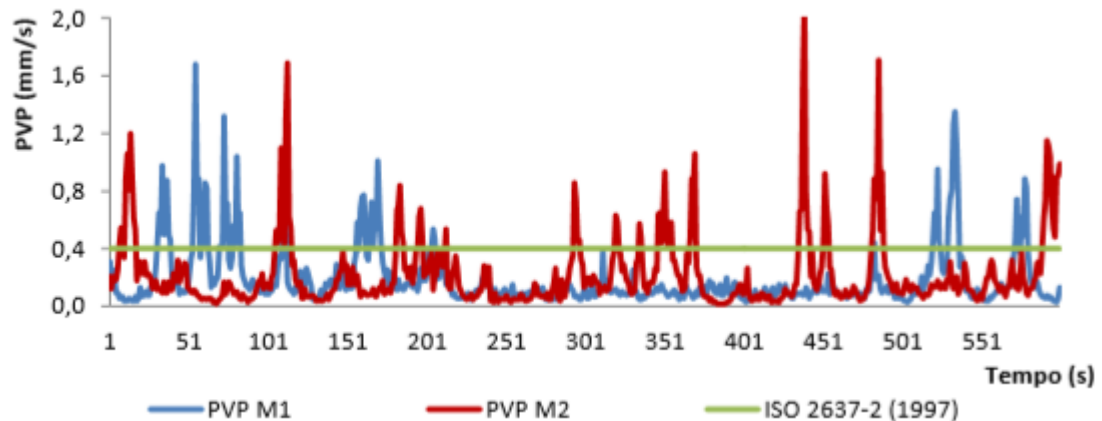
Ainda de acordo com a norma citada acima, a vibração induzida nas edificações é inversamente proporcional a velocidade que essa energia vibratória se propaga no solo. Nos solos mais rígidos a velocidade de propagação da energia da vibração é maior reduzindo a exposição do edifício as vibrações vindas do solo.

Dessa forma de acordo com a norma citada acima, nos solos menos rígidos, onde a velocidade de propagação da vibração é menor, o edifício sofre uma maior exposição à energia vibratória, pois ela leva mais tempo para amortecer. Somente em condições muito severas de solo, como solos não coesivos ou arenoso e siltsosos, é provável que venha a ocorrer a acomodação do solo provocando recalques na fundação.

2.5 PESQUISAS REALIZADAS SOBRE O TEMA

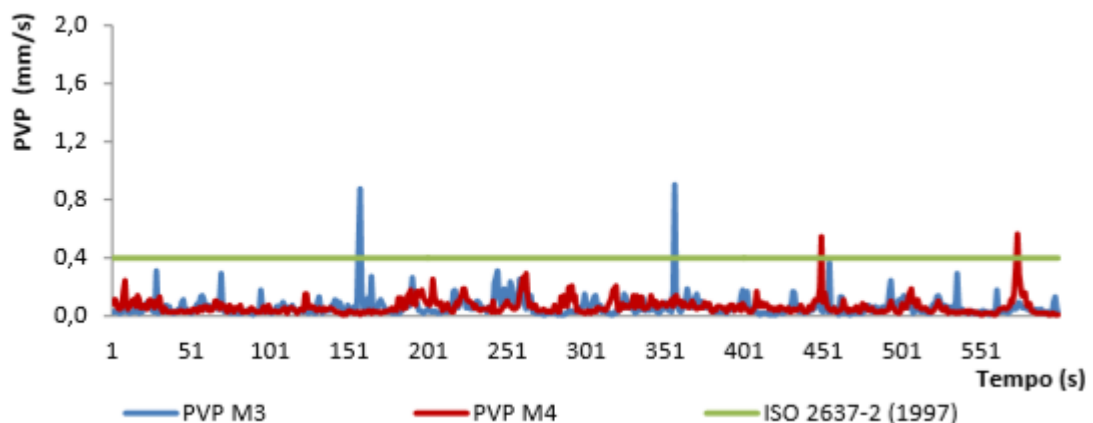
Na pesquisa realizada por Brito (2014), medindo o PVP, em uma rodovia asfaltada, foi encontrado o resultado de 1,7 mm/s para solos arenosos e 2,1 mm/s medidos a uma distância de 3 metros da fonte emissora. As Figuras 8 e 9 mostram como a vibração ocorreu em solos arenosos e argilosos respectivamente.

Figura 8: Valores instantâneos da PVP em função do tempo obtido no solo arenoso.



Fonte: BRITO (2014).

Figura 9: Valores instantâneos da PVP em função do tempo obtido no solo argiloso.



Fonte: BRITO (2014).

Esses resultados encontrados por Brito (2014) estavam acima do estabelecido pela norma ISSO 2631-2 (1993) para incomodidade, o máximo estabelecido é de 0,4 mm/s, porém não oferece risco de danificação as estruturas, porque está abaixo do parâmetro estabelecido pela norma DIN 4150-3 (1999), onde o máximo para edificações de categoria 3 é de 8 mm/s.

2.6 ARDUINO

Para a leitura dos dados junto com o acelerômetro será utilizado o Arduino que segundo Núñez (2016), o Arduino é uma plataforma “open-source” para protótipos eletrônicos, embasado em “software” e “hardware” flexíveis. Essa plataforma é

destinada para pessoas interessadas em criar projetos e ambientes para atender as suas necessidades. O Arduino pode sentir o ambiente ao passo que recebe os dados de sensores, podendo modificar suas luzes, motores, controladores e outros atuadores. O Arduino foi criado em 2005 na Itália com o objetivo de ser utilizado em projetos escolares, utilizando equipamentos de baixo custo para a produção de protótipos.

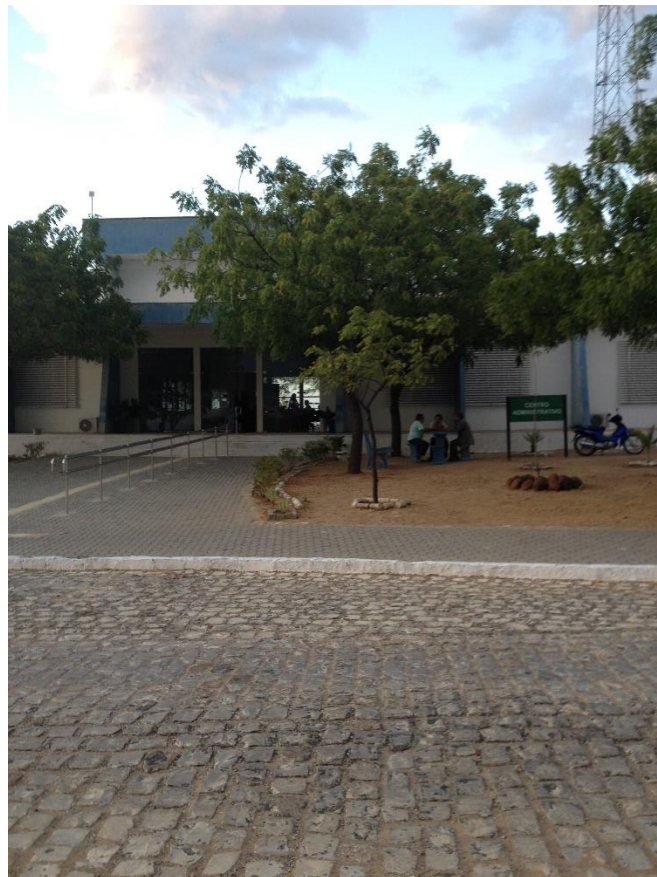
Ainda de acordo com esse autor, o Arduino é uma plataforma já conhecida com execução leve e rápida, cobrindo as funções de 90% dos sensores do mercado e não é produzido por um fabricante de microcontroladores. Essa plataforma pode ser incrementada de funções adicionais. A sua plataforma *open source* possui variantes como o freeduino, seeeduino, pinguinho e paperduino.

Ainda segundo esse autor, esses controladores apresentam uma certa modularidade com o uso de *Shields*, esses são placas que podem ser conectadas em cima do PCB Arduino ampliando as suas funcionalidades. Essas placas adicionais seguem a mesma filosofia do Arduino, sendo fáceis de montar e com custo baixo para a sua produção.

3 METODOLOGIA

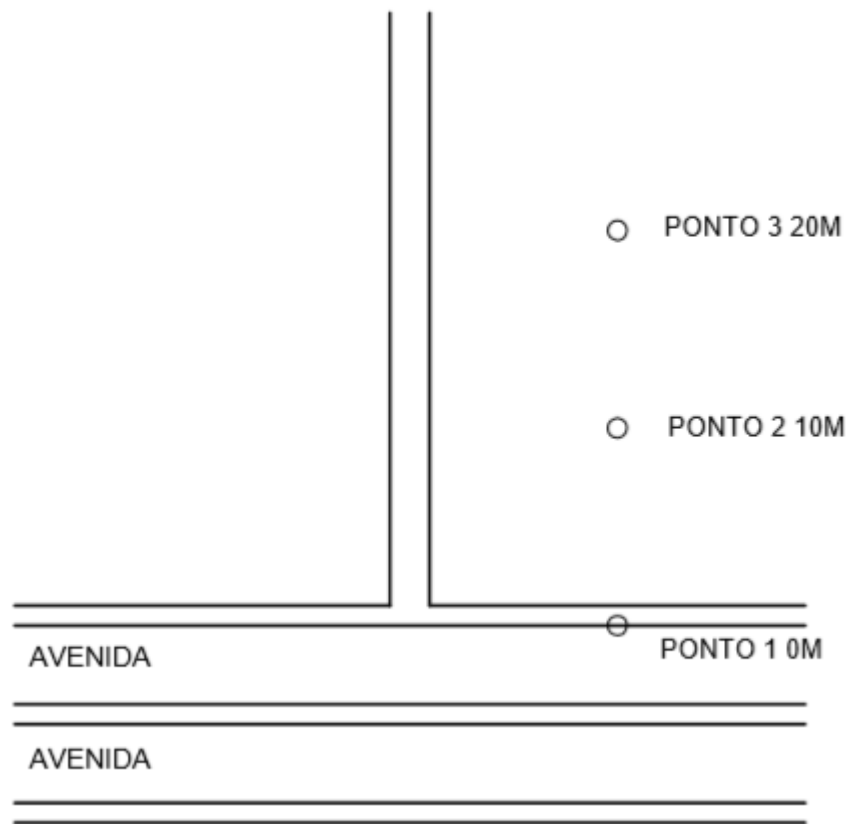
A pesquisa foi feita através de experimento in loco para a obtenção de vibrações oriundas de uma rodovia em frente ao setor administrativo da UFERSA campus Angicos, consistiu na instalação do equipamento no local e no monitoramento dos dados, coletando-os e tratando-os na sequência. A Figura 10 e 11 mostra o local de realização do experimento e o esquema para medição.

Figura 10: Setor administrativo da UFERSA Angicos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 11: Croqui do local da medição.



Fonte: Autoria própria (2019).

De acordo com a Petrere et al. (2019) o solo existente no Rio Grande do Norte é o Planossolo que possui uma camada mais clara com textura arenosa ou média e uma segunda camada de textura média, argilosa ou muito argilosa.

Para realizar o experimento foi utilizado um acelerômetro triaxial apoiado em cima de um objeto sólido em pontos determinados. Primeiramente realizou-se medições no limite entre a calçada e a pista de rolamento, o segundo ponto foi a 10 metros da pista e o último ponto o acelerômetro estava a 20 metros da pista de rolamento.

Para melhorar a obtenção dos dados foram adotados dois pontos de referência a 30 metros antes e depois do acelerômetro, para iniciar e parar a medição, na demarcação esses pontos serão feitas marcações com objetos para facilitar a visualização e melhorar a precisão do experimento.

Essas medições ocorreram com os veículos transitando em velocidades variáveis, ou seja, não teve o controle sobre a velocidade tráfego na rodovia.

Para a pesquisa foram obtidos dados de carros do tipo sedã compacto, com massa estimada de 1,05 tonelada, passando ao acaso com a velocidade estimada em 50 Km/h.

Para aumentar a base de dados a serem obtidos pelo equipamento de baixo custo, também foi realizada a medição da vibração gerada pelo Ônibus a serviço da instituição, que possui capacidade estimada de 70 passageiros somando os sentados e em pé, com massa de 16 toneladas transitando a uma velocidade estimada de 30 Km/h.

Para a obtenção dos dados de vibração na mesma unidade dos parâmetros internacionais, foi utilizado o vetor resultante dos três eixos de aceleração detectados pelo acelerômetro.

Após o cálculo do vetor resultante de aceleração a velocidade da partícula foi obtida pela equação 1 abaixo:

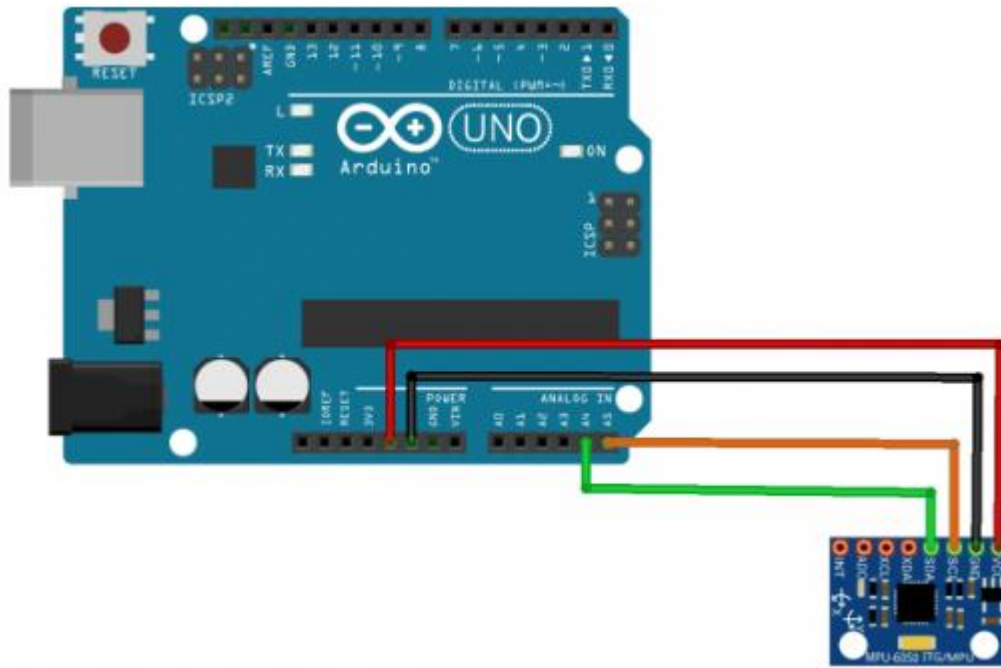
Eq. 1:
$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Com esses dados em mãos, foi utilizado tabelas do programa editor de planilhas para a melhor visualização e compreensão dos dados para a partir disto realizar as conclusões que a pesquisa chegou após a análise dos dados.

Para realizar as medições foi utilizado a placa Arduino UNO acoplada ao acelerômetro GY-521, de acordo com Souza (2015) “A placa GY-521 é baseada no CI MPU-6050 da InvenSense. No total são 6 eixos, sendo três para o acelerômetro e 3 para o giroscópio. Há também a possibilidade da ligação de um magnetômetro externo através de pinos auxiliares.”

Ainda segundo o autor, o MPU-6050 possui o recurso interno de “Digital Motion Processor” (DMP), esse recurso permite que o algoritmo de detecção de movimento seja processado no próprio CI livrando o microcontrolador dessa tarefa. O MPU-6050 possui internamente conversores A/D de 16 bits, para que esses dados possam ser mostrados simultaneamente. Ainda na sua parte interna existe um “buffer” FIFO de 1024 bytes, onde esses valores podem ser armazenados e posteriormente lidos, de acordo com a sua finalidade. Na Figura 11 mostra como essa conexão entre a placa e o acelerômetro.

Figura 12: Exemplo de conexão entre Arduino e acelerômetro



Fonte: SOUZA (2015).

Na realização desse trabalho, foi utilizado esse acelerômetro com o código de instruções similar ao apresentando por Souza (2015). No entanto para captação de dados mais precisa foi adotado um espaço para “delay” menor do que o trabalho anteriormente citado, para este trabalho será utilizado um “delay” de 10 milissegundos. Na figura 5 mostra como o código é escrito.

Figura 13: Código para o funcionamento do Arduino

```

1 #include<Wire.h>
2
3 //Endereço I2C do MPU6050
4 const int MPU=0x68; //pino aberto 0x68 , pino ligado em 3,3V 0x69
5
6 //Variáveis globais
7 int acelX,acelY,acelZ,temperatura,giroX,giroY,giroZ;
8
9 //configurações iniciais
10 void setup()
11 {
12
13   Serial.begin(9600); //inicia a comunicação serial
14   Wire.begin(); //inicia I2C
15   Wire.beginTransmission(MPU); //Inicia transmissão para o endereço do MPU
16   Wire.write(0x6B);
17
18   //Inicializa o MPU-6050
19   Wire.write(0);
20   Wire.endTransmission(true);
21 }
22
23 //loop principal
24 void loop()
25 {
26   Wire.beginTransmission(MPU); //transmite
27   Wire.write(0x3B); // Endereço 0x3B (ACCEL_XOUT_H)
28   Wire.endTransmission(false); //Finaliza transmissão
29
30   Wire.requestFrom(MPU,14,true); //requisita bytes
31
32   //Armazena o valor dos sensores nas variáveis correspondentes
33   acelX=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3B (ACCEL_XOUT_H) & 0x3C (ACCEL_XOUT_L)
34   acelY=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3D (ACCEL_YOUT_H) & 0x3E (ACCEL_YOUT_L)
35   acelZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x3F (ACCEL_ZOUT_H) & 0x40 (ACCEL_ZOUT_L)
36   temperatura=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x41 (TEMP_OUT_H) & 0x42 (TEMP_OUT_L)
37   giroX=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x43 (GYRO_XOUT_H) & 0x44 (GYRO_XOUT_L)
38   giroY=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x45 (GYRO_YOUT_H) & 0x46 (GYRO_YOUT_L)
39   giroZ=Wire.read()<<8|Wire.read(); //0x47 (GYRO_ZOUT_H) & 0x48 (GYRO_ZOUT_L)
40
41   //Envia valores lidos do acelerômetro
42   Serial.print("Acel:");
43   Serial.print(" X:");Serial.print(acelX);
44   Serial.print("\tY:");Serial.print(acelY);
45   Serial.print("\tZ:");Serial.print(acelZ);
46
47   //Envia valores lidos do giroscópio
48   Serial.print("\tGiro:");
49   Serial.print(" X:");Serial.print(giroX);
50   Serial.print("\tY:");Serial.print(giroY);
51   Serial.print("\tZ:");Serial.print(giroZ);
52
53   //Envia valor da temperatura em graus Celsius
54   Serial.print("\tTemperatura: "); Serial.println(temperatura/340.00+36.53);
55
56   //Aguarda 500 ms
57   delay(500);
58 }

```

Fonte: Souza (2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

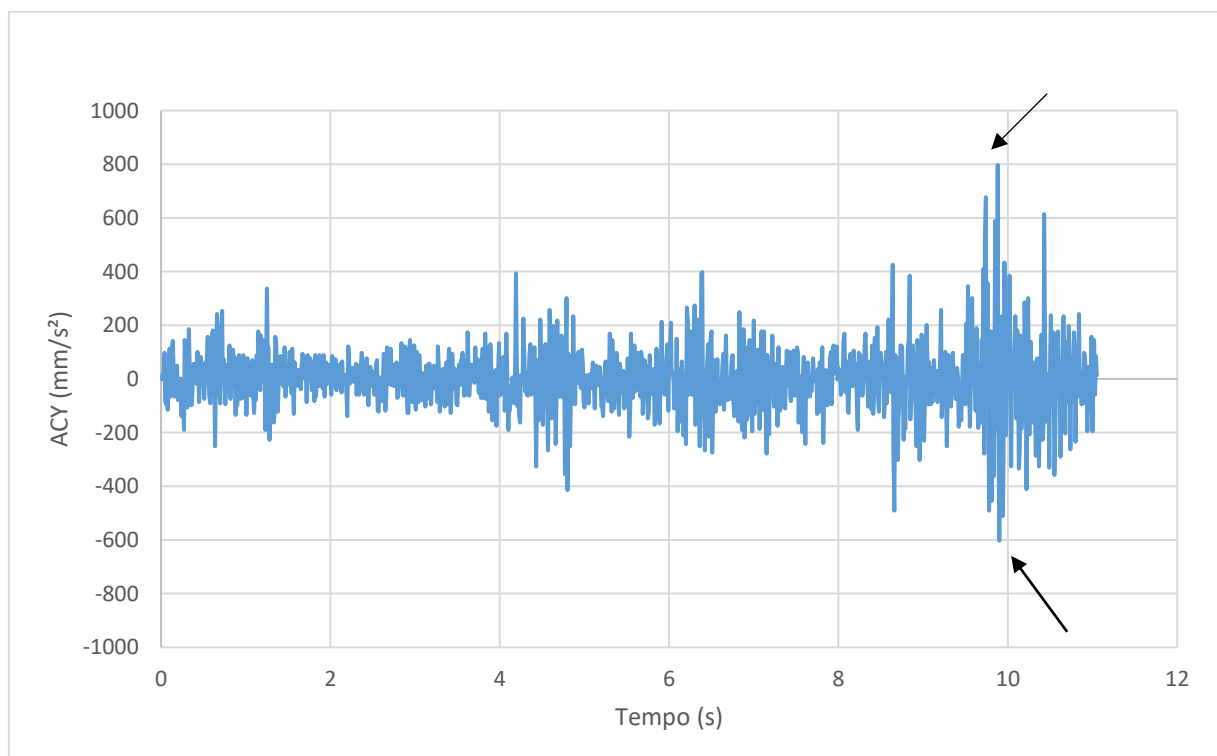
4.1 ACELERAÇÃO DO CARRO DE PASSEIO EM FUNÇÃO DO TEMPO

Após recolher e tratar os dados obtidos pelo equipamento, foi observado os comportamentos expostos nos Gráficos do 1 ao 9:

4.1.1 Carro a 0 metros da fonte

No Gráfico 1, podem ser notados picos de oscilação entre -602 a 797, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico pode ser observado o momento que ocorre o amortecimento da vibração, após a sua maior oscilação registrada pelo equipamento. Percebe-se que a perturbação vem ocorrendo no meio até o momento dos 10 segundos onde ocorre o pico de vibração, momento esse momento mostra que o equipamento recebeu o sinal de uma forma mais direta do veículo que passou pela rodovia.

Gráfico1: Carro a 0 metros da fonte.

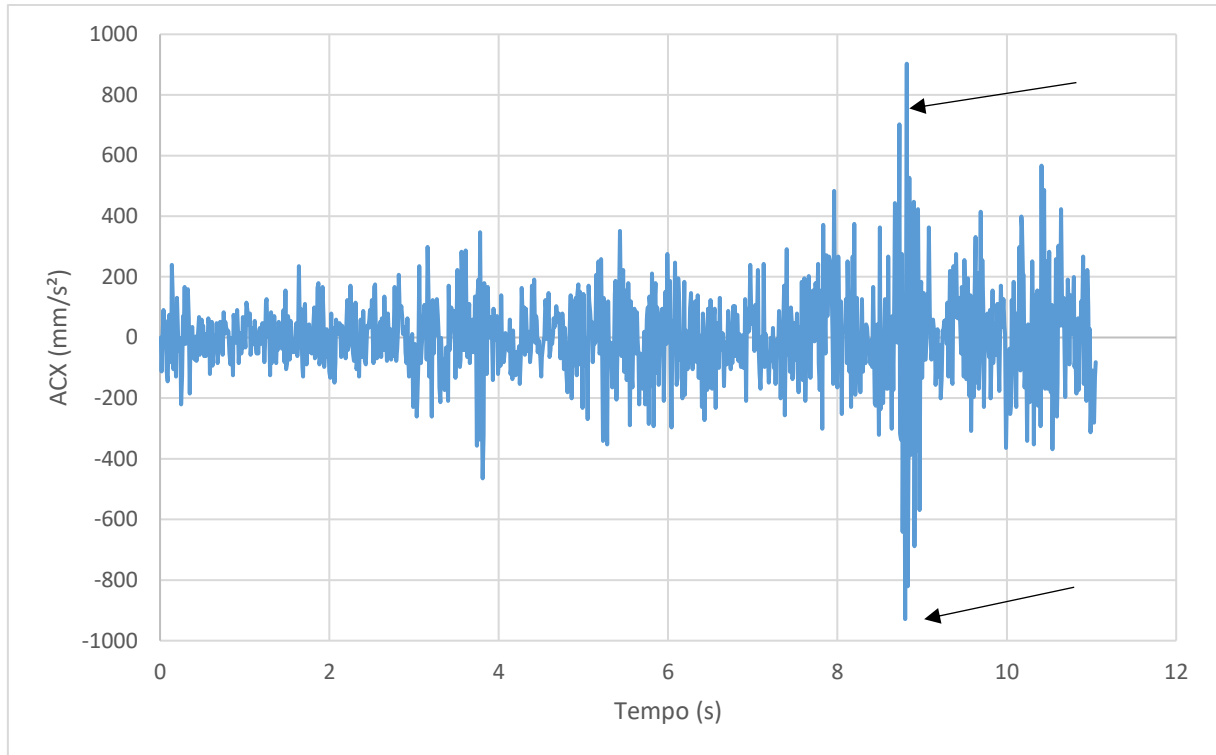


Fonte: Autoria Própria (2019).

No Gráfico 2, pode ser notado uma grande oscilação entre -928 a 903 seguido por um amortecimento da vibração oriunda do tráfego. Mesmo com o

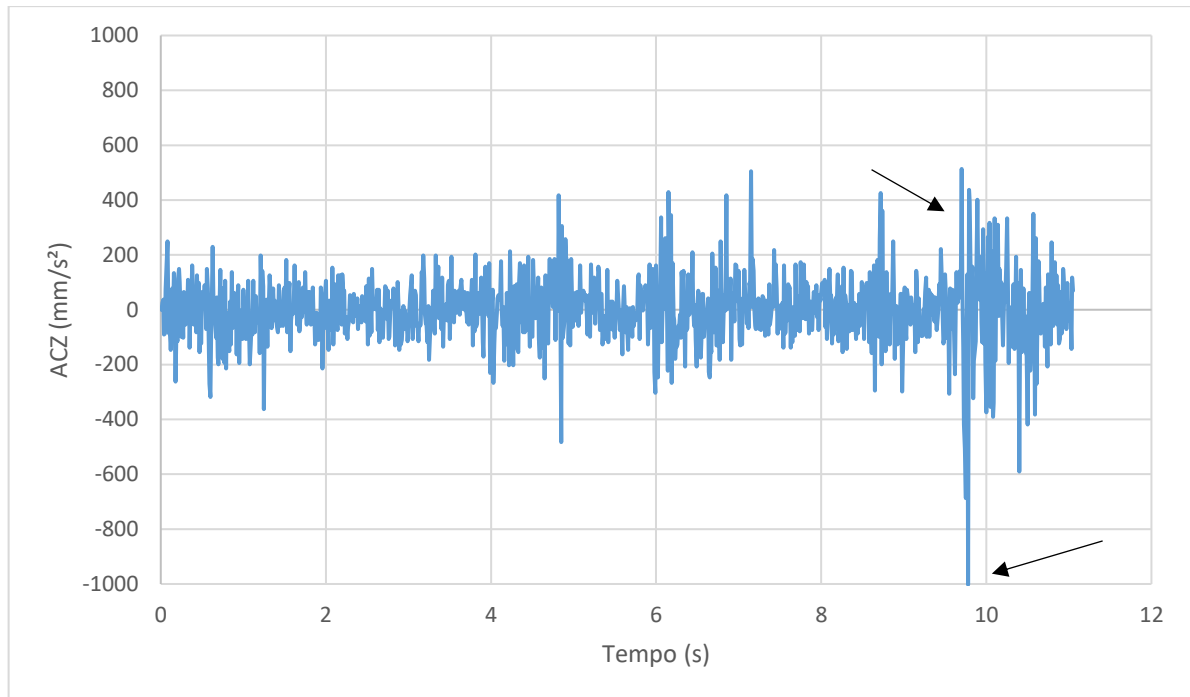
amortecimento, essas vibrações são bastante perceptíveis no gráfico. Nota-se que o meio vem recebendo a perturbação até o momento entre os 8 e 10 segundos, em que o veículo provoca uma maior oscilação no aparelho e seguido pelo seu respectivo amortecimento, quando a energia vibratória começa a se dissipar.

Gráfico 2: Carro a 0 metros da fonte.



Fonte: Autoria Própria (2019).

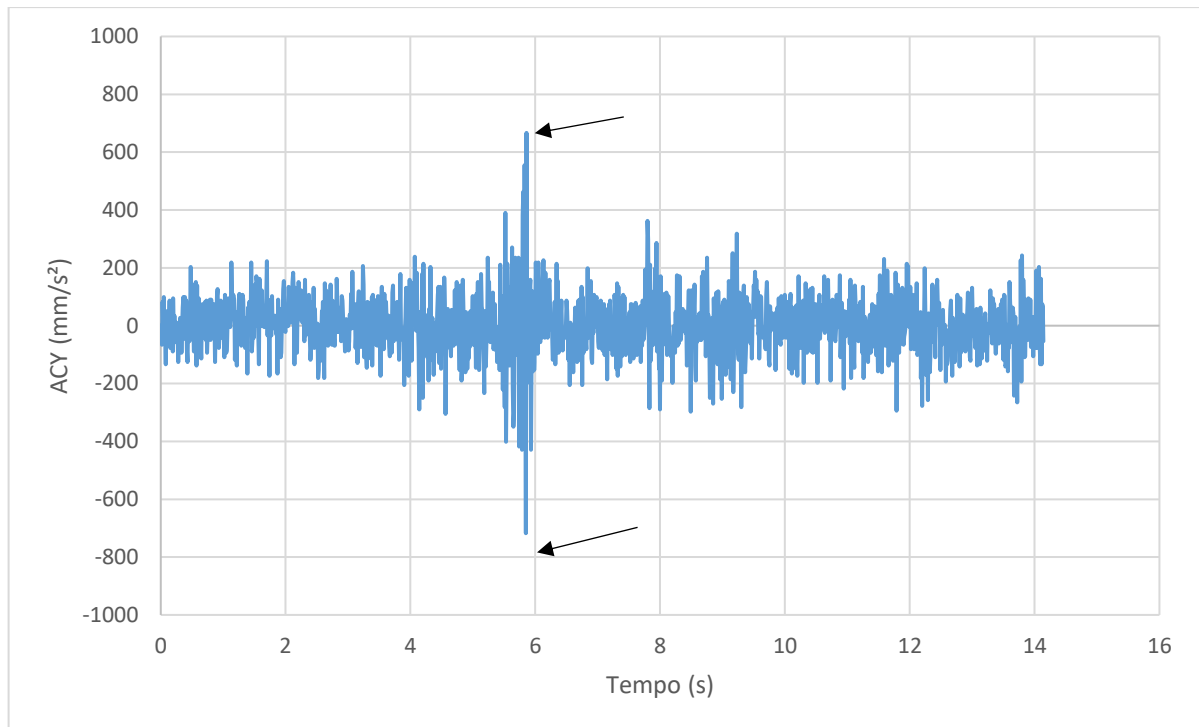
No Gráfico 3, pode ser notado uma grande oscilação entre -1002 a 513 seguido por um leve amortecimento da vibração oriunda do tráfego. Mesmo com o amortecimento, essas vibrações são bastante perceptíveis no gráfico. Percebe-se que o local onde o equipamento registra a vibração vem sendo perturbada até o momento pouco antes dos 10 segundos, em que o equipamento registra os picos de oscilações seguidos de seu amortecimento, assim mostrando o término da interação entre o equipamento e a vibração do veículo.

Gráfico 3: carro a 0 metros da fonte.

Fonte: Autoria Própria (2019).

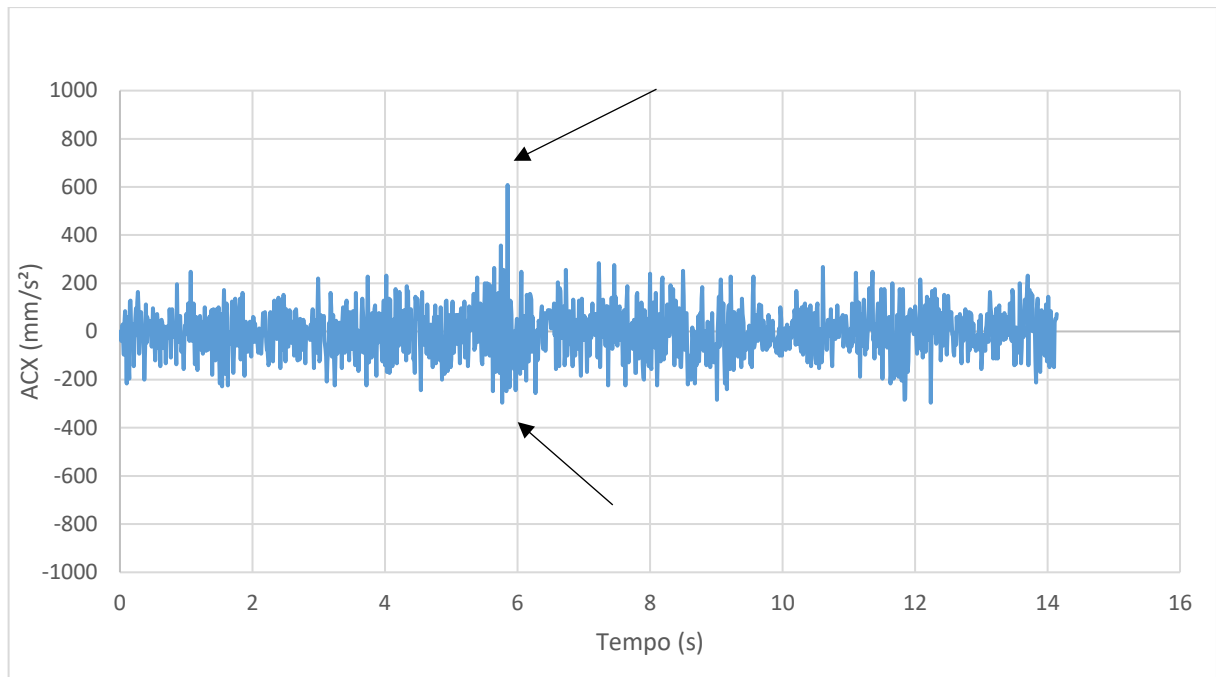
4.1.2 Carro a 10 metros da fonte

No Gráfico 4, podem ser notados picos de oscilação entre -717 a 666, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico pode ser observado o momento que ocorre o amortecimento da vibração, após a sua maior oscilação registrada pelo equipamento. Nota-se que ocorreu uma leve queda de vibração em relação ao gráfico anterior de mesma coordenada, também pode ser notado que o momento em que o carro mais se aproxima do equipamento é situado pouco antes dos 6 segundos, pois esse é o local onde ocorre os poucos de vibração da rodovia.

Gráfico 4: Carro a 10 metros da fonte.

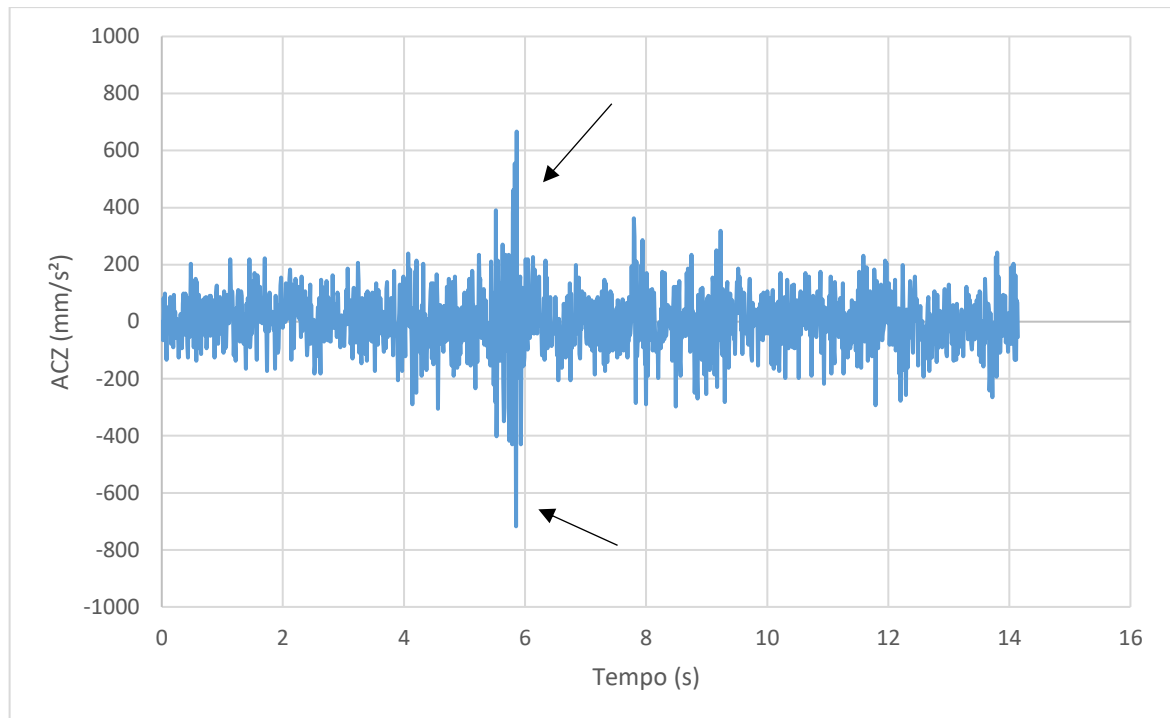
Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 5, podem ser notados picos de oscilação entre -294 a 608, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico pode ser observado o momento que ocorre o amortecimento da vibração após a sua maior oscilação registrada pelo equipamento. Fica visível que ocorre uma redução da vibração induzida no veículo quando passa próximo do equipamento, onde o seu maior pico de vibrações está situado pouco antes do 6 segundo, sendo seguido pelo amortecimento das vibrações.

Gráfico 5: Carro a 10 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

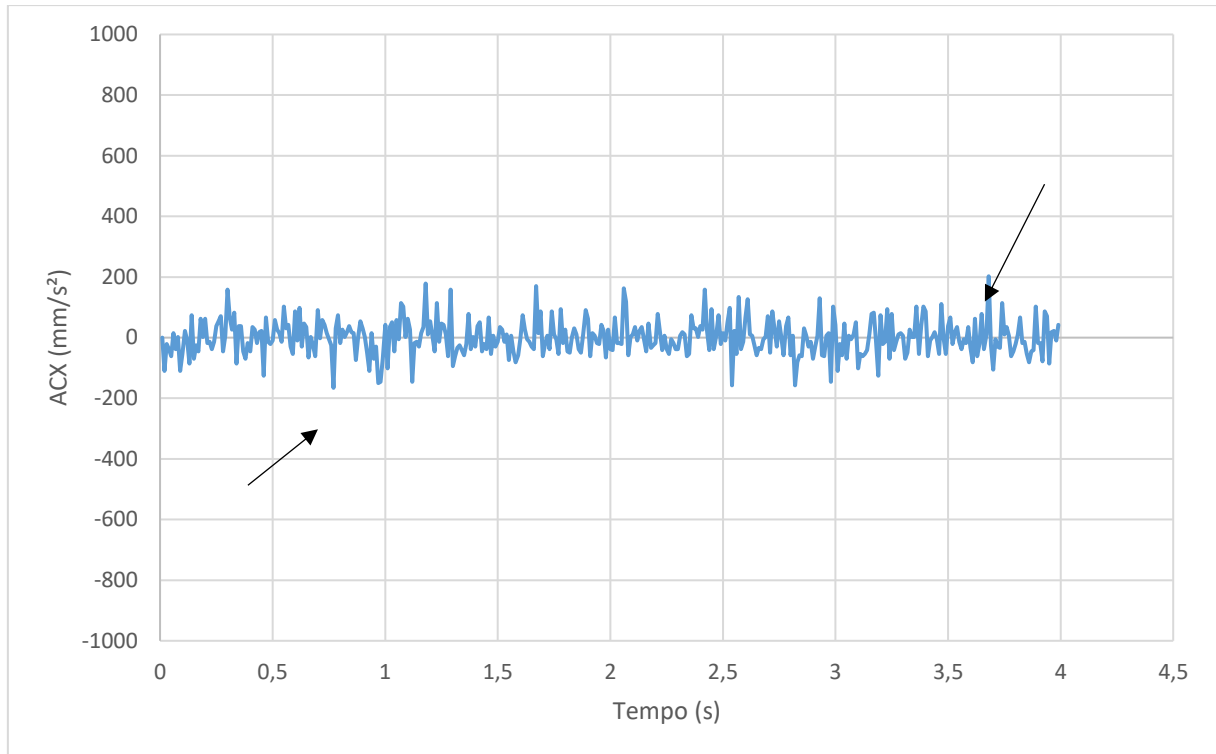
No Gráfico 6, podem ser notados picos de oscilação entre -717 a 666, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico pode ser observado o momento que ocorre o amortecimento da vibração após a sua maior oscilação registrada pelo equipamento. ocorreu um leve aumento da componente negativa da aceleração em relação ao seu ponto anterior, também pode ser notado que o momento em que ocorreu o maior pico de vibrações é pouco antes dos 6 segundos, em seguida ocorrendo o seu amortecimento.

Gráfico 6: Carro a 10 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

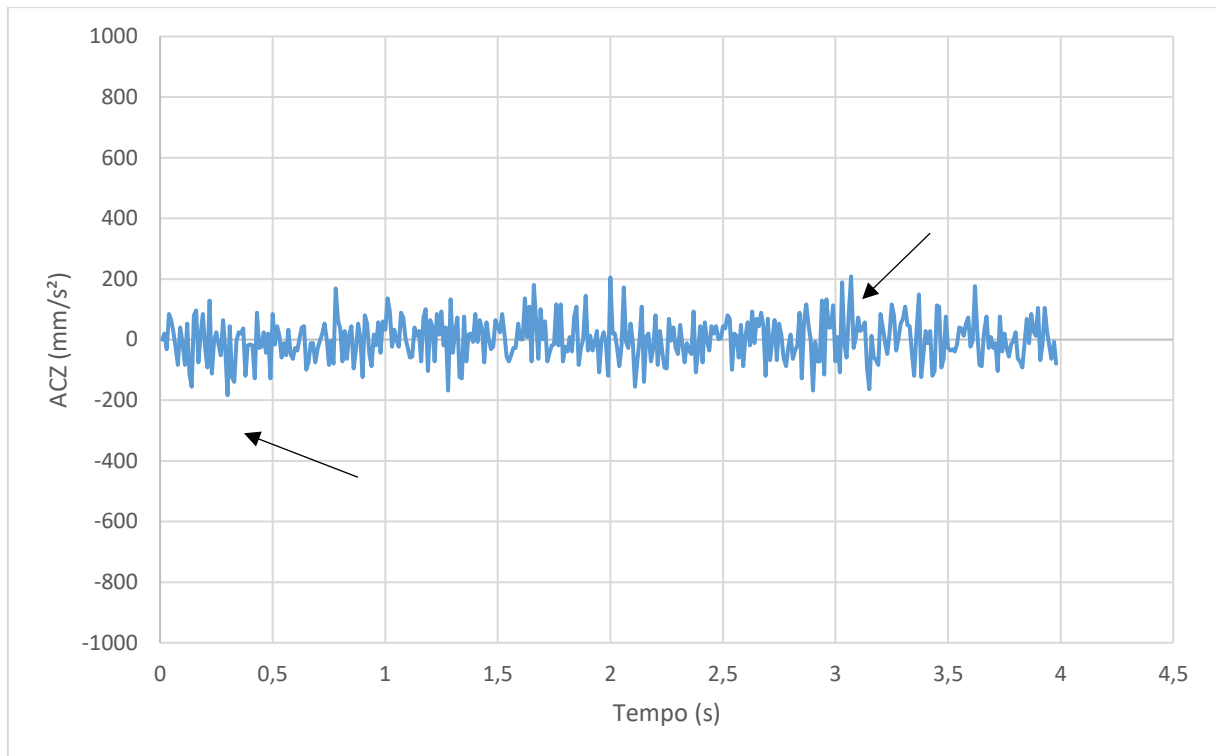
4.1.3 Carro a 20 metros da fonte

No Gráfico 7, podem ser notados picos de oscilação entre -165 a 202, registrando oscilações menos visíveis do que as registradas a distâncias menores a 20 metros da fonte de vibrações. fica pouco visível as vibrações no parelho, porque com o aumento de área no solo a onda de vibração perde a sua intensidade, assim sendo menos detectável pelo aparelho.

Gráfico 7: Carro a 20 metros da fonte.

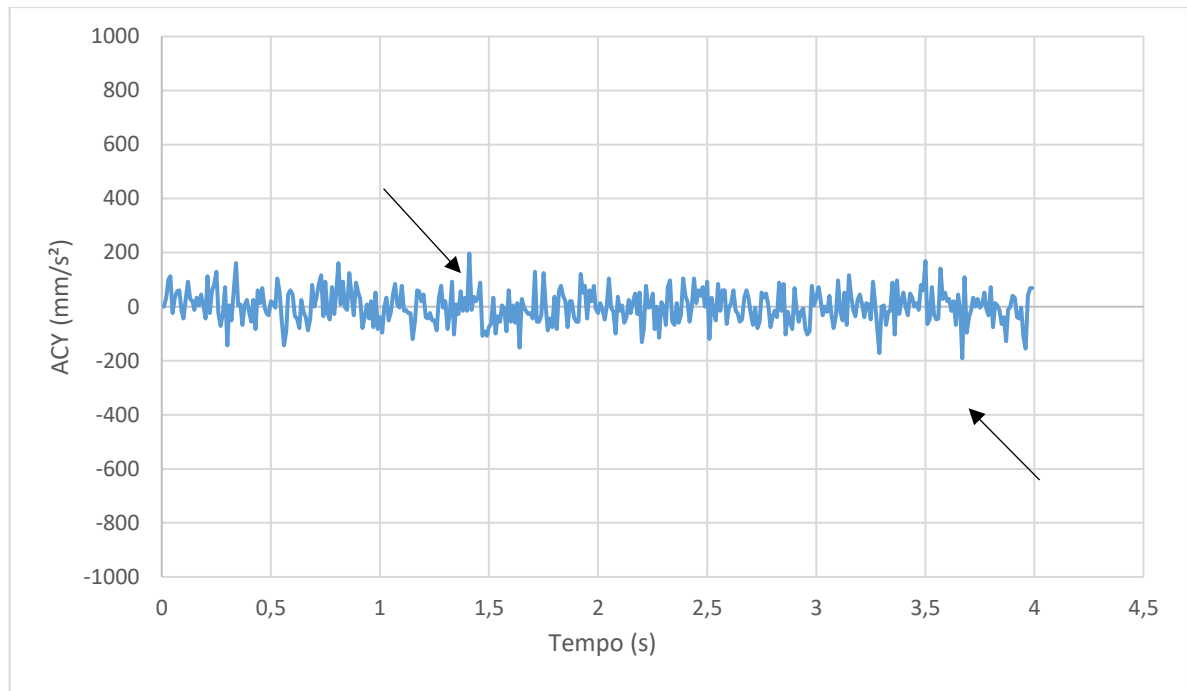
Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 8 podem ser notados picos de oscilação entre -183 a 208, registrando oscilações menos visíveis do que as registradas a distâncias menores a 20 metros da fonte de vibrações. a vibração é menos perceptível, por que o equipamento está mais afastado da fonte de vibração em relação aos pontos anteriores, resultando em uma vibração menos perceptível prevista anteriormente na literatura.

Gráfico 8: Carro a 20 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 9, podem ser notados picos de oscilação entre -191 a 196, registrando oscilações menos visíveis do que as registradas a distâncias menores a 20 metros da fonte de vibrações.

Gráfico 9: Carro a 20 metros da fonte.

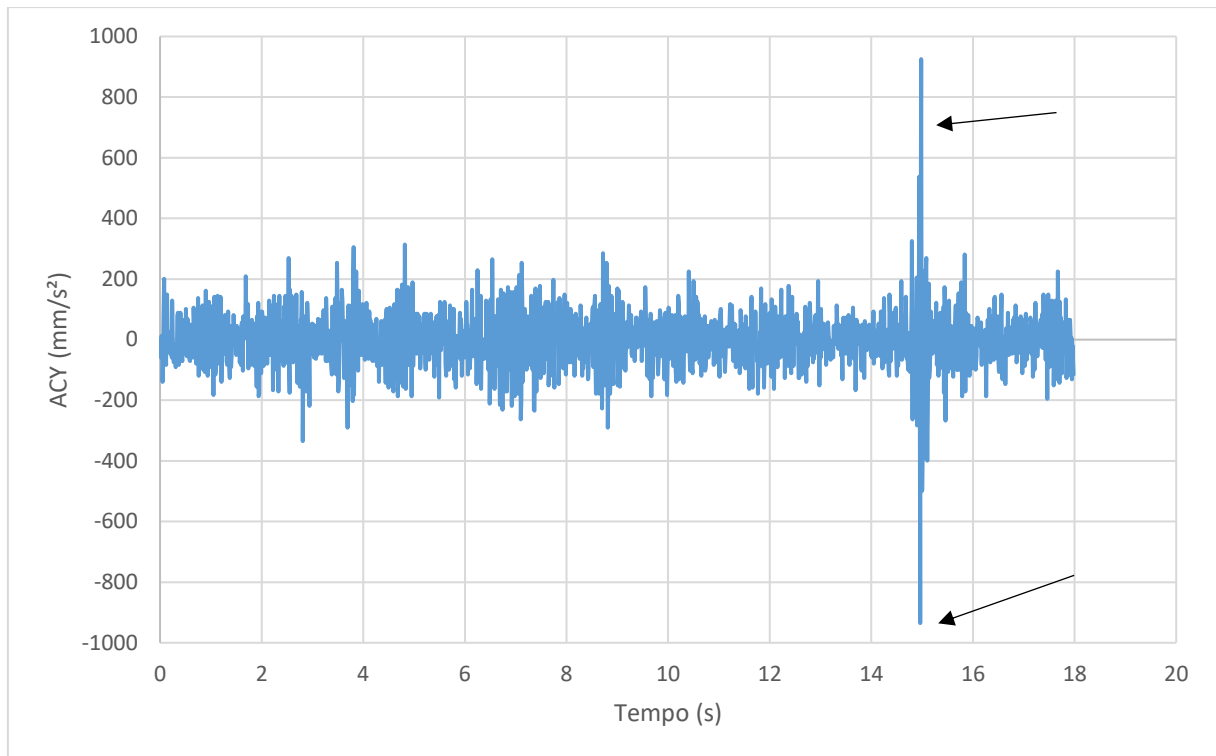
Fonte: Autoria própria (2019).

A partir desta análise dos dados percebeu-se que o comportamento obtido no estudo foi semelhante aos dados e exposições presentes na literatura. À medida que o sensor é afastado do ponto de emissão de vibrações, as mesmas, apresentam uma redução decorrido pelo aumento de área que a vibração precisa percorrer provocando a redução da sua intensidade. Nos Gráficos 10 ao 18 notou-se um comportamento semelhante com um veículo diferente.

4.2 ACELERAÇÃO DO ÔNIBUS EM FUNÇÃO DO TEMPO

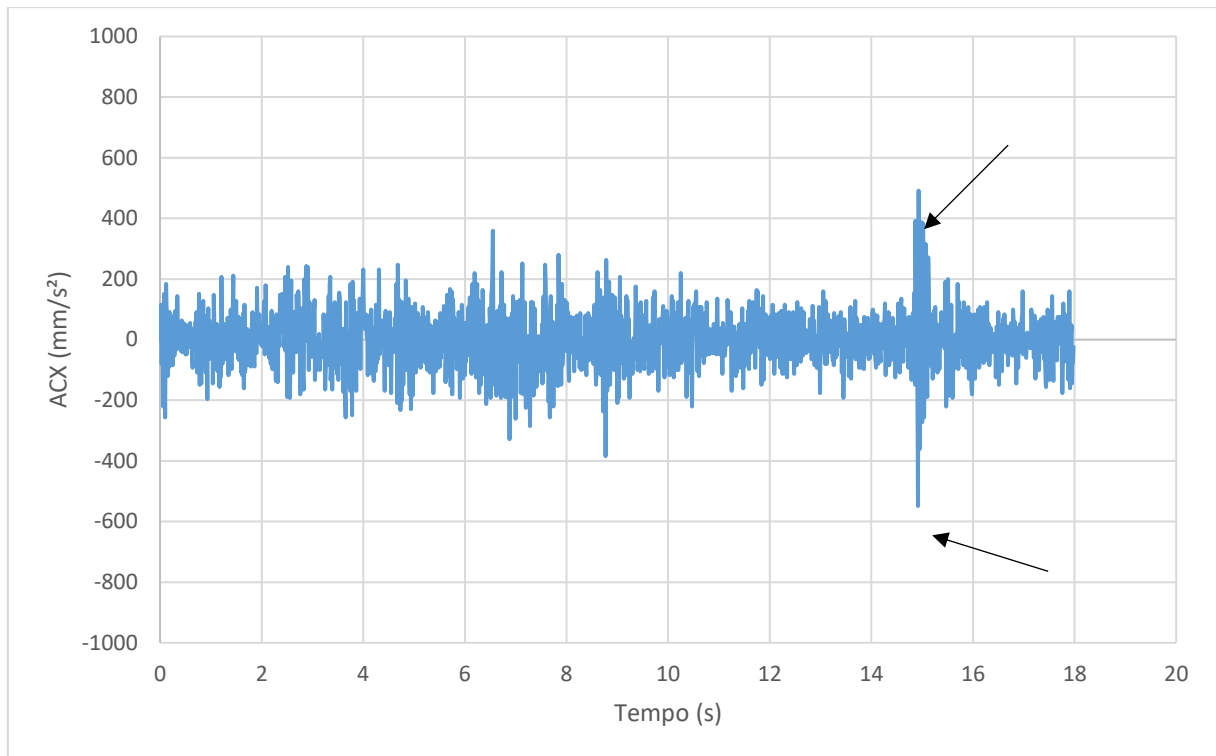
4.2.1 Ônibus a 0 metros da fonte

No Gráfico 10, podem ser notados picos de oscilação entre -934 a 925, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico pode ser observado o momento que ocorre o amortecimento da vibração após a sua maior oscilação registrada pelo equipamento é visível que o veículo vem se aproximando até entrar no local mais próximo do sensor, ocorrendo o pico de vibração entre os 14 e 16 segundos de medição, ocorrendo posteriormente o seu amortecimento.

Gráfico 10: Ônibus a 0 metros da fonte.

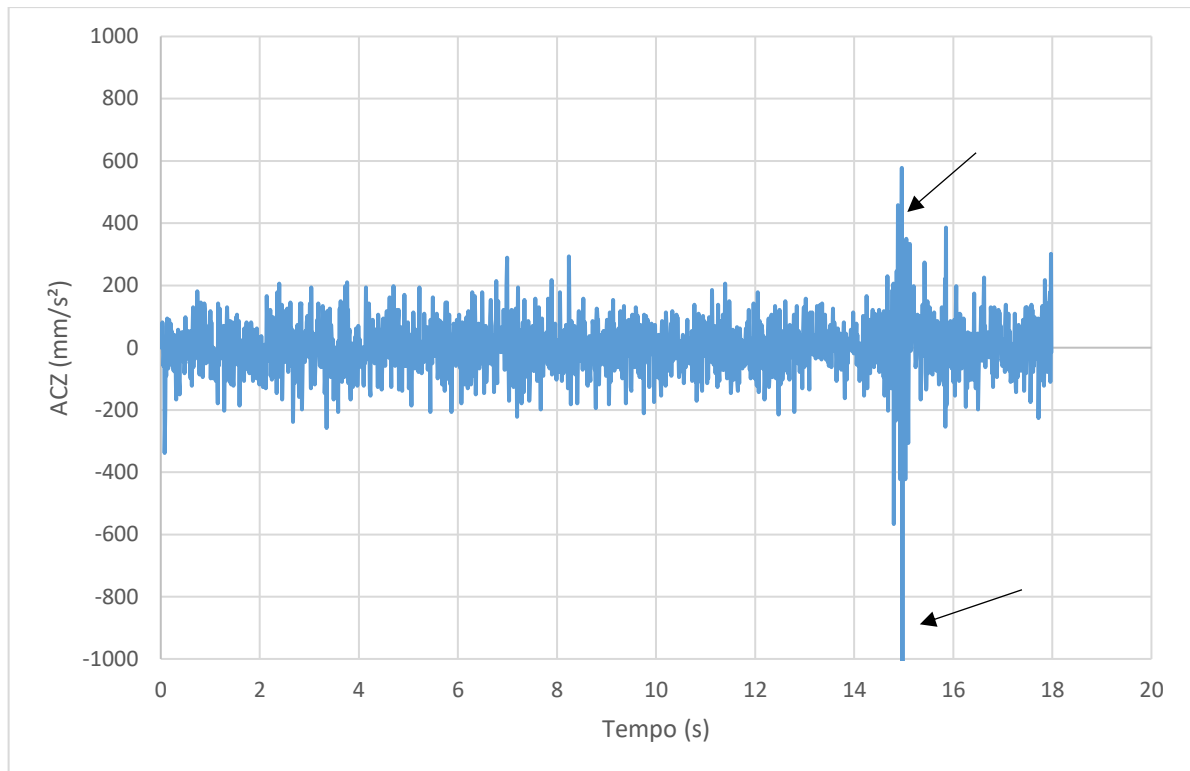
Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 11, podem ser notados picos de oscilação entre -548 a 491, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico pode ser observado o momento que ocorre o amortecimento da vibração após a sua maior oscilação registrada pelo equipamento é perceptível que ocorre a aproximação do veículo até o local mais próximo do sensor, provocando o pico de vibração entre 14 e 16 segundos, em seguida ocorrendo o amortecimento da onda vibratória.

Gráfico 11: Ônibus a 0 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

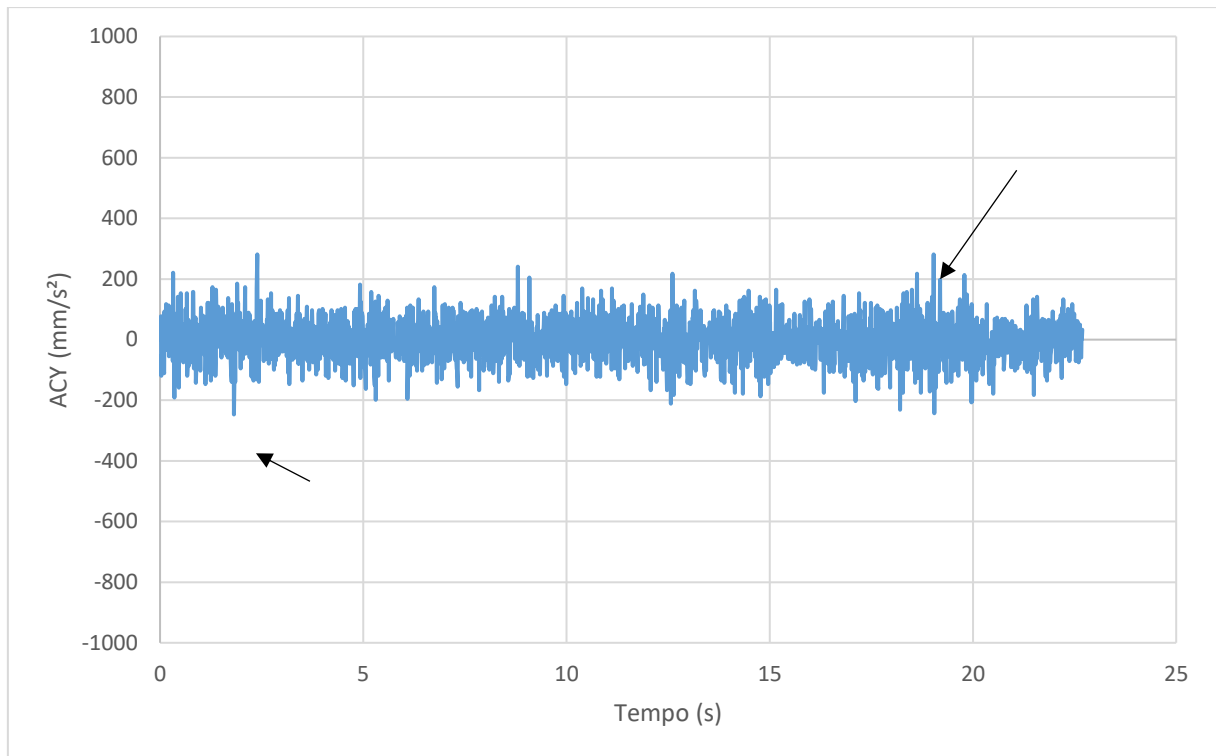
No Gráfico 12, podem ser notados picos de oscilação entre -1066 a 577, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico pode ser observado o momento que ocorre o amortecimento da vibração após a sua maior oscilação registrada pelo equipamento. A vibração registrada no sensor vem aumentando de intensidade até atingir o seu ponto máximo entre 14 e 16 segundos, mostrando que nesse momento o veículo passou o ponto mais próximo do equipamento, em seguida com o afastamento do veículo ocorre o amortecimento da onda vibratória.

Gráfico 12: Ônibus a 0 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

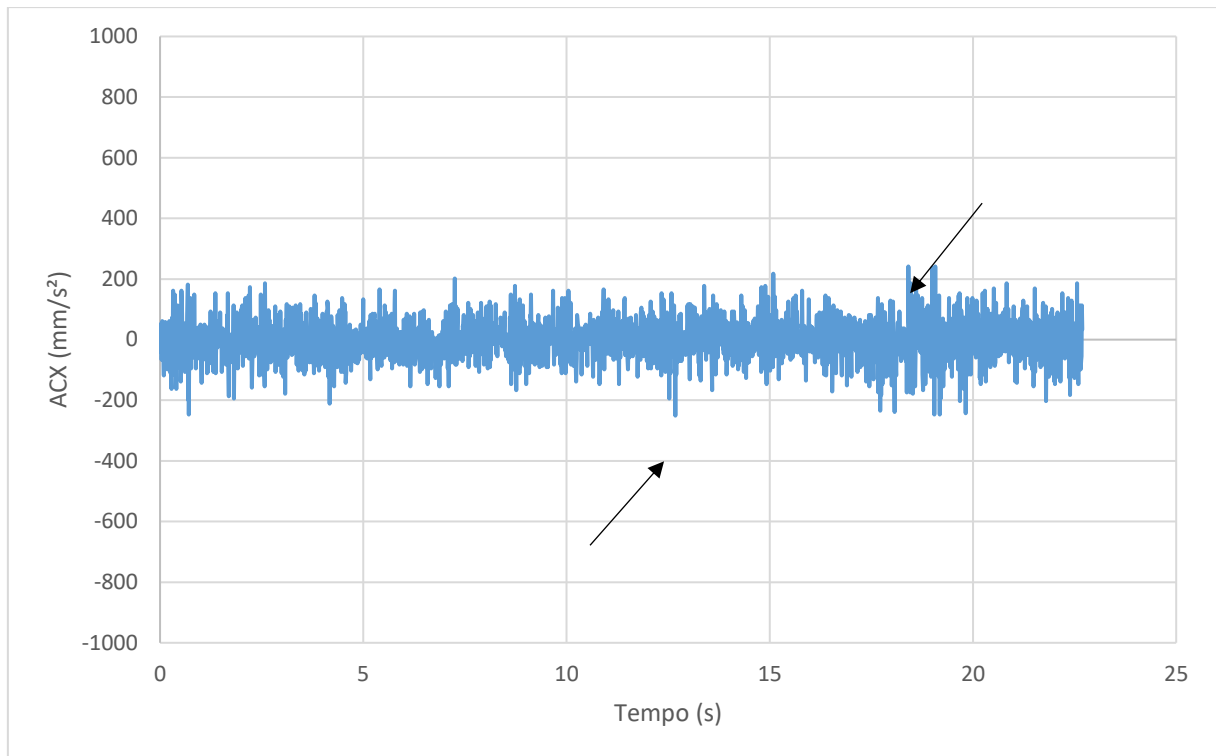
4.2.2 Ônibus a 10 metros da fonte

No Gráfico 13, podem ser notados picos de oscilação entre -246 a 281, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico é menos visível o amortecimento e a vibração de maior impacto. Os picos de vibração ficam menos evidentes, porque o sensor está afastado da fonte aumentando a área que a onda vibratória precisa percorrer, reduzindo a sua intensidade.

Gráfico 13: Ônibus a 10 metros da fonte.

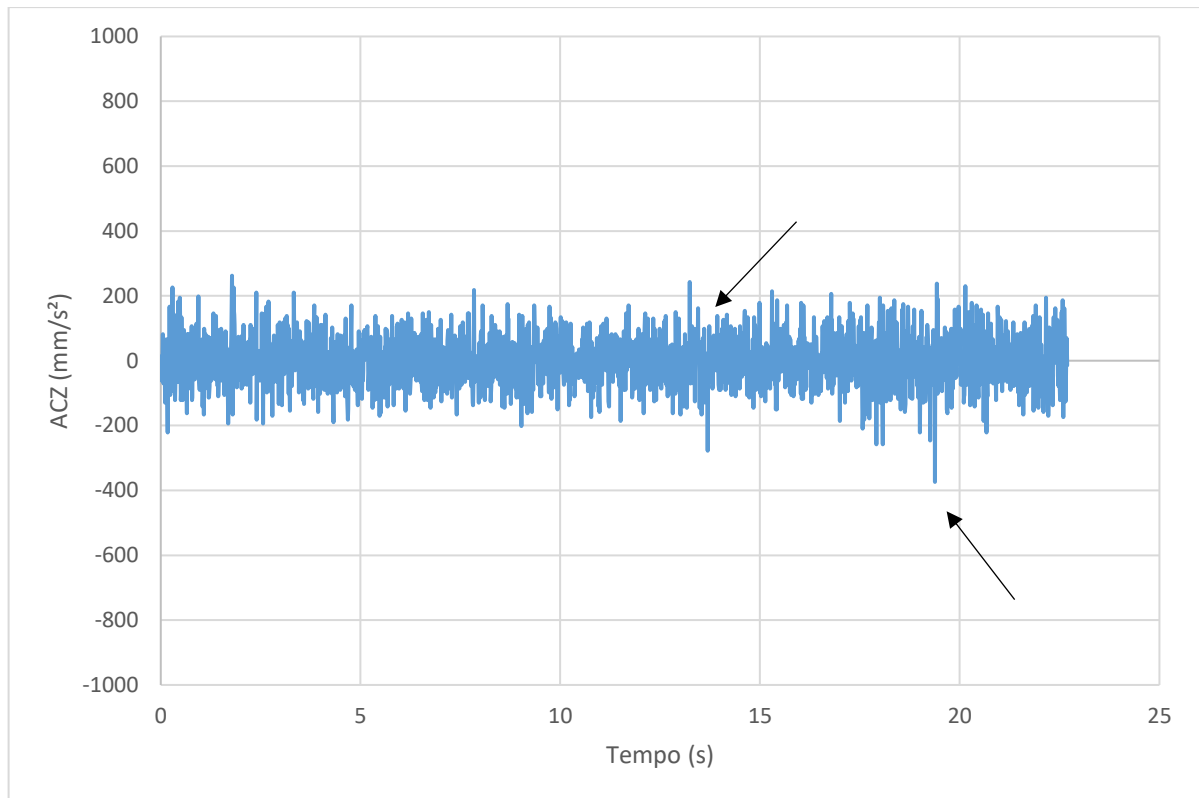
Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 14, podem ser notados picos de oscilação entre -250 a 241, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico é menos visível o amortecimento e a vibração de maior impacto. Os picos de vibração ficaram mesmo evidentes, por que com o aumento de área entre o sensor e a rodovia a intensidade da vibração no local onde o aparelho está realizando a medição da vibração sofre uma redução como o registrado por Gevú, Silvos e Varela (2018), quando mediram a vibração em um local próximo da rodovia e outro ponto localizado a uma distância maior da rodovia.

Gráfico 14: Ônibus a 10 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 15, podem ser notados picos de oscilação entre -373 a 242, registrando o momento de maior perturbação do meio. Nesse gráfico é menos visível o amortecimento e a vibração de maior impacto. os picos de vibração foram reduzidos de uma forma mais brusca similar ao que aconteceu na pesquisa de Brito (2013) quando mediu a vibração de uma composição férrea.

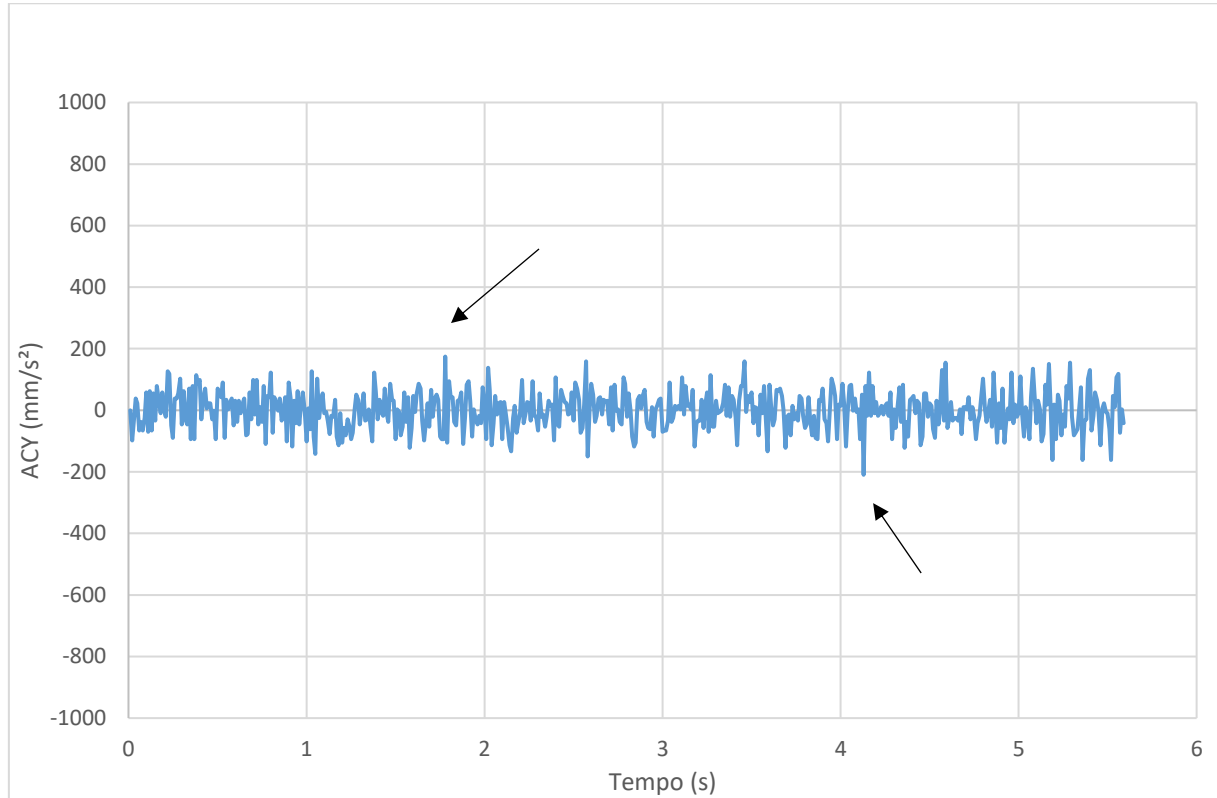
Gráfico 15: Ônibus a 10 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 16, podem ser notados picos de oscilação entre -209 a 174, registrando oscilações menos visíveis do que as registradas a distâncias menores a 20 metros da fonte de vibrações. a vibração está bem menos perceptível do que no ponto, anterior a 10 metros da rodovia, mostrando que a vibração sofreu outra queda quando o sensor foi afastado até o ponto de 20 metros da rodovia, atingindo assim os resultados esperados seguindo o que era previsto por Chaves et al. (2009).

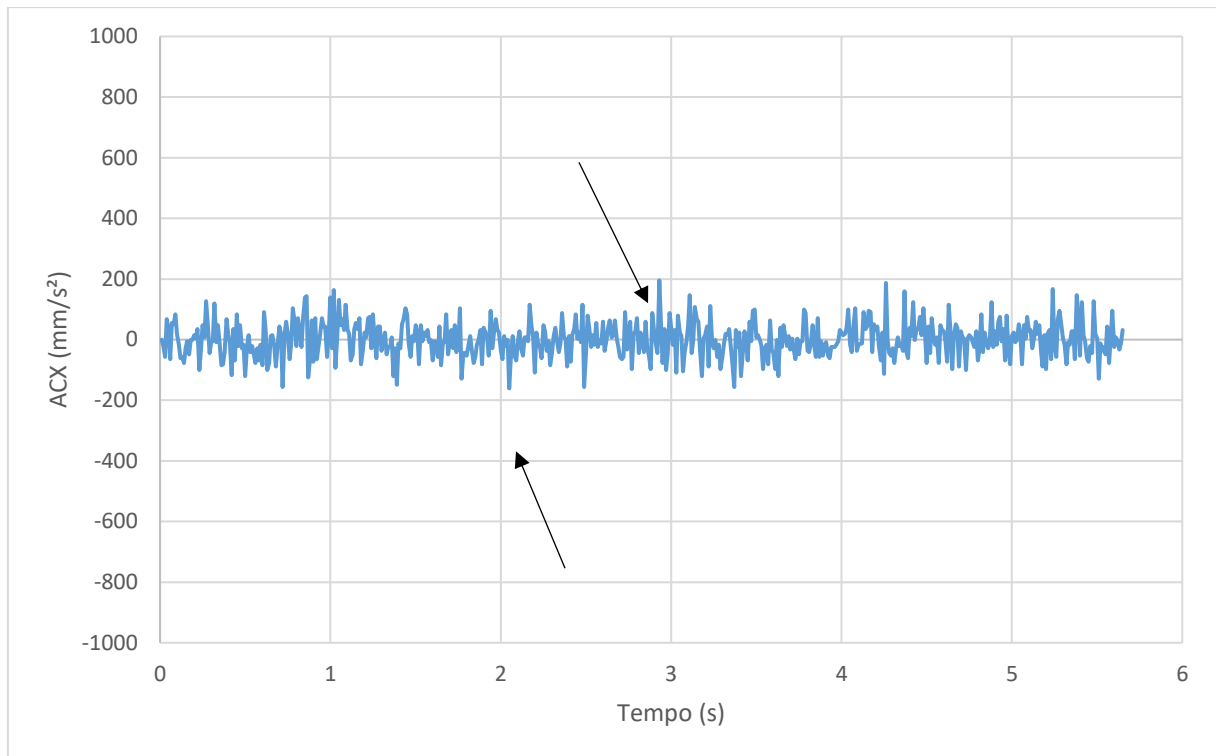
4.2.3 Ônibus a 20 metros da fonte

Gráfico 16: Ônibus a 20 metros da fonte.



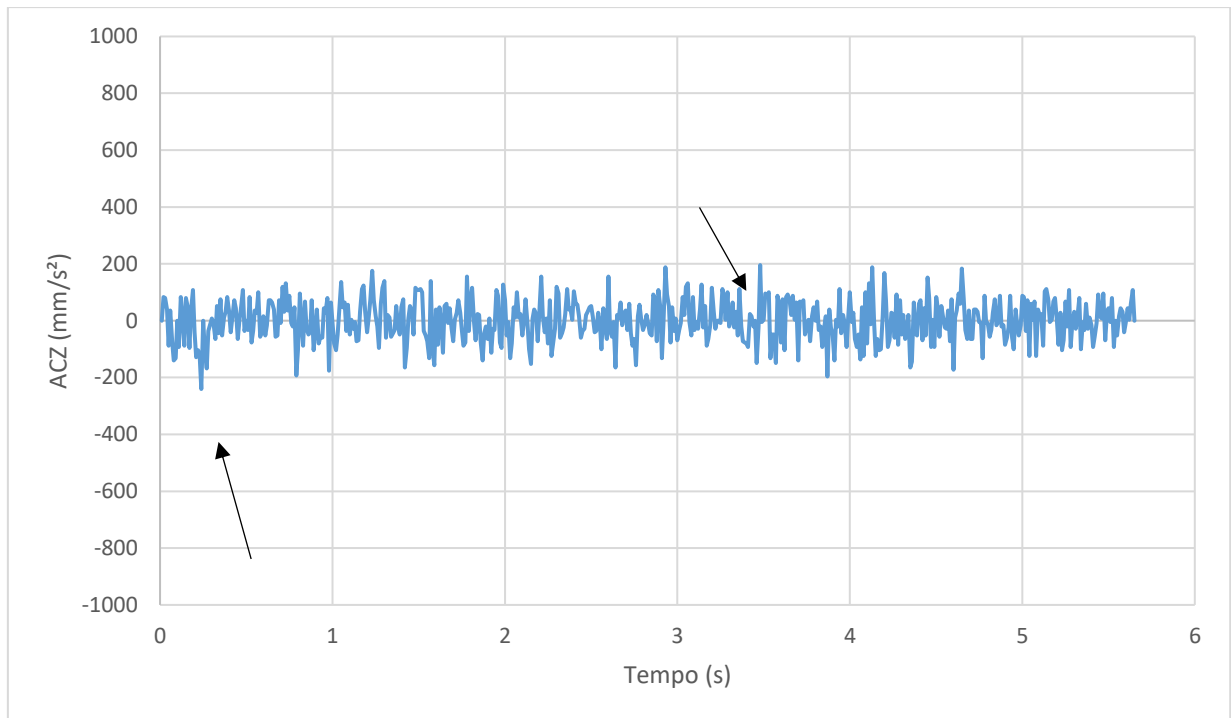
Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 17, podem ser notados picos de oscilação entre -160 a 195, registrando oscilações menos visíveis do que as registradas a distâncias menores a 20 metros da fonte de vibrações. a vibração está bem menos perceptível do que no ponto, anterior a 10 metros da rodovia, mostrando que a vibração sofreu outra queda quando o sensor foi afastado até o ponto de 20 metros da rodovia, atingindo assim os resultados esperados seguindo o que era previsto por Chaves et al. (2009).

Gráfico 17: Ônibus a 20 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

No Gráfico 18, podem ser notados picos de oscilação entre -240 a 195, registrando oscilações menos visíveis do que as registradas a distâncias menores a 20 metros da fonte de vibrações. A vibração está bem menos perceptível do que no ponto, anterior a 10 metros da rodovia, mostrando que a vibração sofreu outra queda quando o sensor foi afastado até o ponto de 20 metros da rodovia, atingindo assim os resultados esperados seguindo o que era previsto por Chaves et al. (2009).

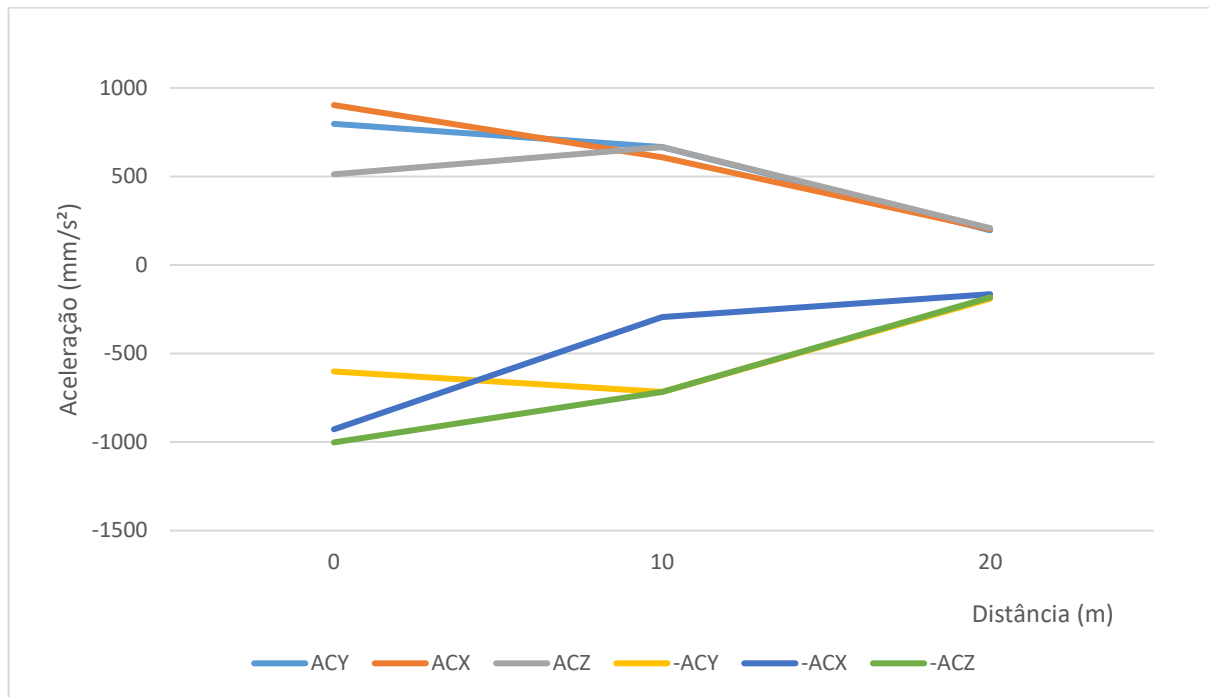
Gráfico 18: Ônibus a 20 metros da fonte.

Fonte: Autoria própria (2019).

4.3 ACELERAÇÃO EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA

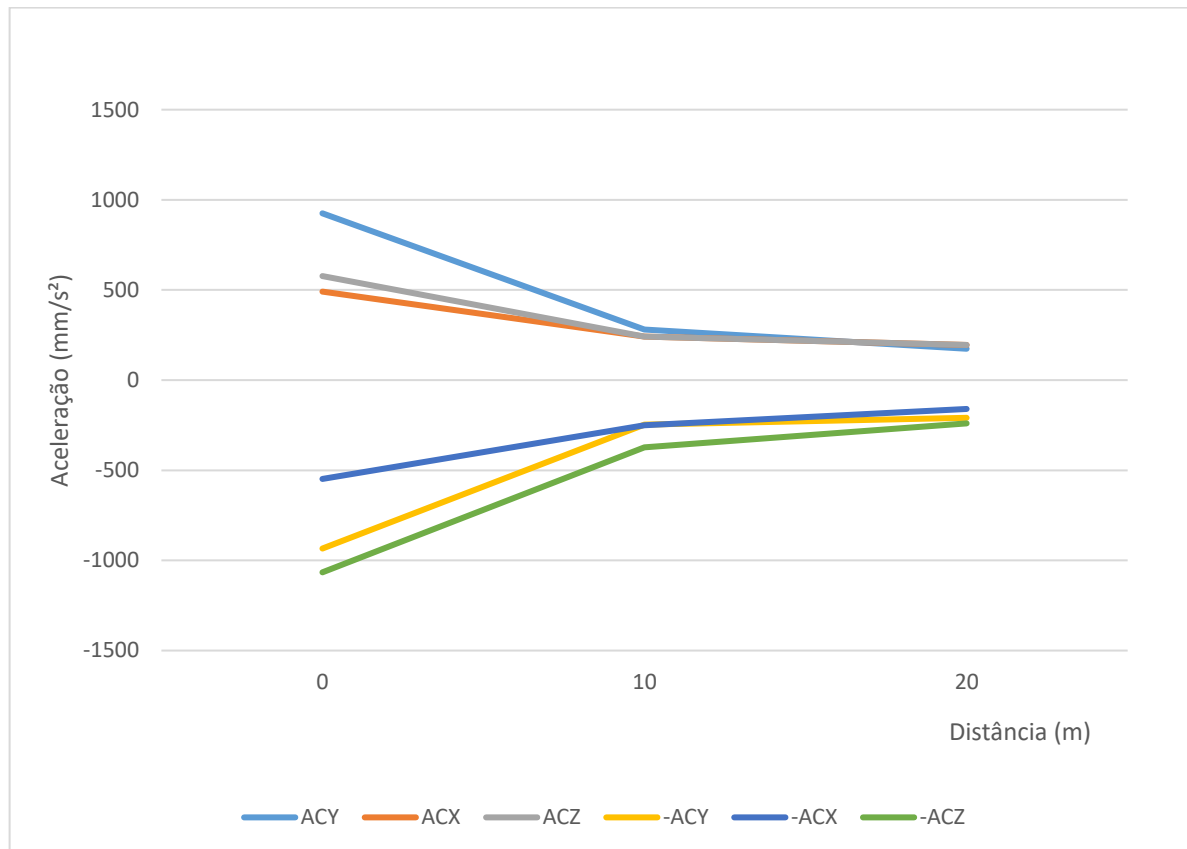
Para compreender como funcionou a dinâmica de vibração em função da distância do receptor para a rodovia, foram elaborados os gráficos 19 e 20.

No Gráfico 19 duas variáveis apresentaram um comportamento que diverge do encontrado por BRITO (2014), essa divergência pode ser explicada com a medição de vibração dos veículos ao acaso, onde não tem controle da velocidade e do seu peso, gerando essas anomalias. A aceleração da vibração causada pela passagem de carros é influenciada quando ocorre o aumento da distância entre o sensor e a rodovia, nesse Gráfico as variáveis ACY e ACZ apresentaram um comportamento diferente do previsto por Chaves et al. (2009).

Gráfico 19: Aceleração do carro com a distância

Fonte: Autoria própria (2019).

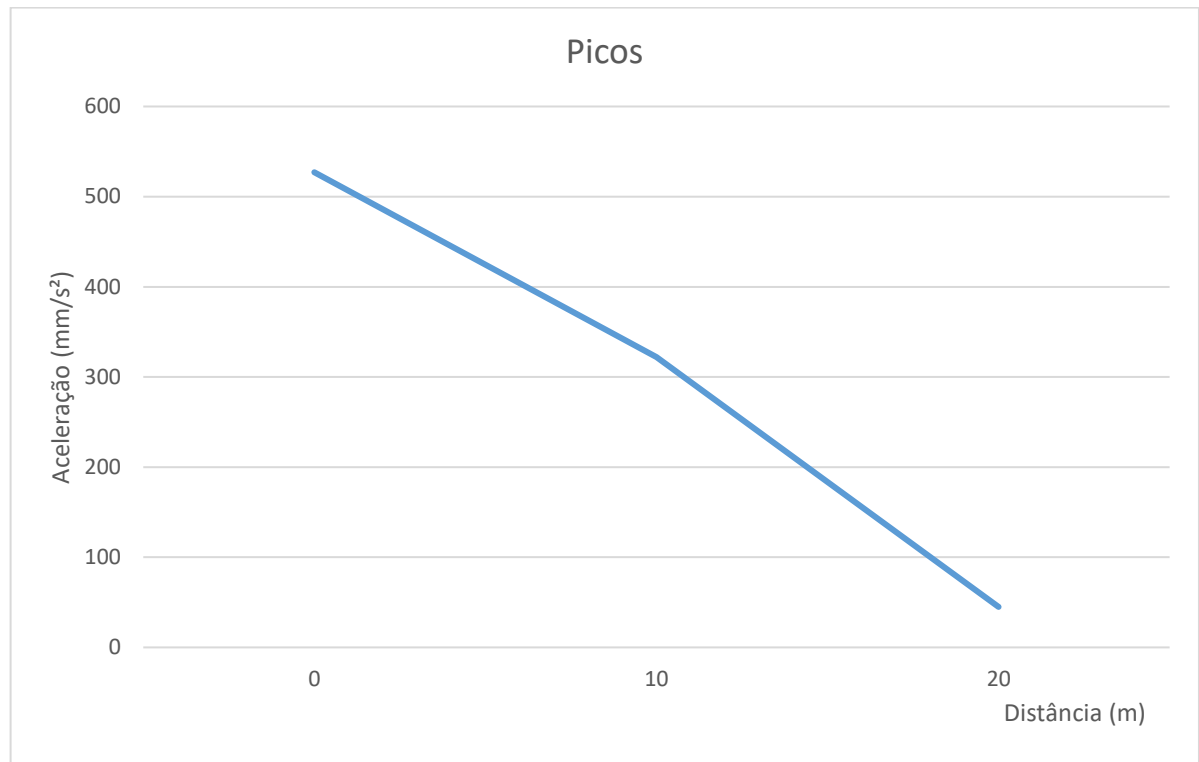
No Gráfico 20 o comportamento dos picos de aceleração tanto positiva quanto negativa apresentam um comportamento encontrado por BRITO (2014), onde essa vibração sofre um decaimento com o aumento da distância da fonte de vibração. A aceleração da vibração causada pela passagem do Ônibus é influenciada quando ocorre o aumento da distância entre o sensor e a rodovia, nesse Gráfico as variáveis apresentaram um comportamento previsto por Chaves et al. (2009), no qual aumentando a distância do sensor em relação a fonte de vibração, a onda vibratória sofreria uma redução na sua intensidade.

Gráfico 20: Aceleração do ônibus com a distância

Fonte: Autoria própria (2019).

O Gráfico 21 mostra como ocorre a redução do vetor resultante de aceleração do carro com o aumento da distância da fonte de vibração, apresentando uma queda menos acentuada, formando uma queda de vibração quase proporcional. O vetor resultante da vibração induzida pelo carro apresenta uma queda mais gradual quando afastada da sua fonte de vibração, o aumento de distância da rodovia a intensidade da vibração diminui devido ao aumento de área para a vibração percorrer.

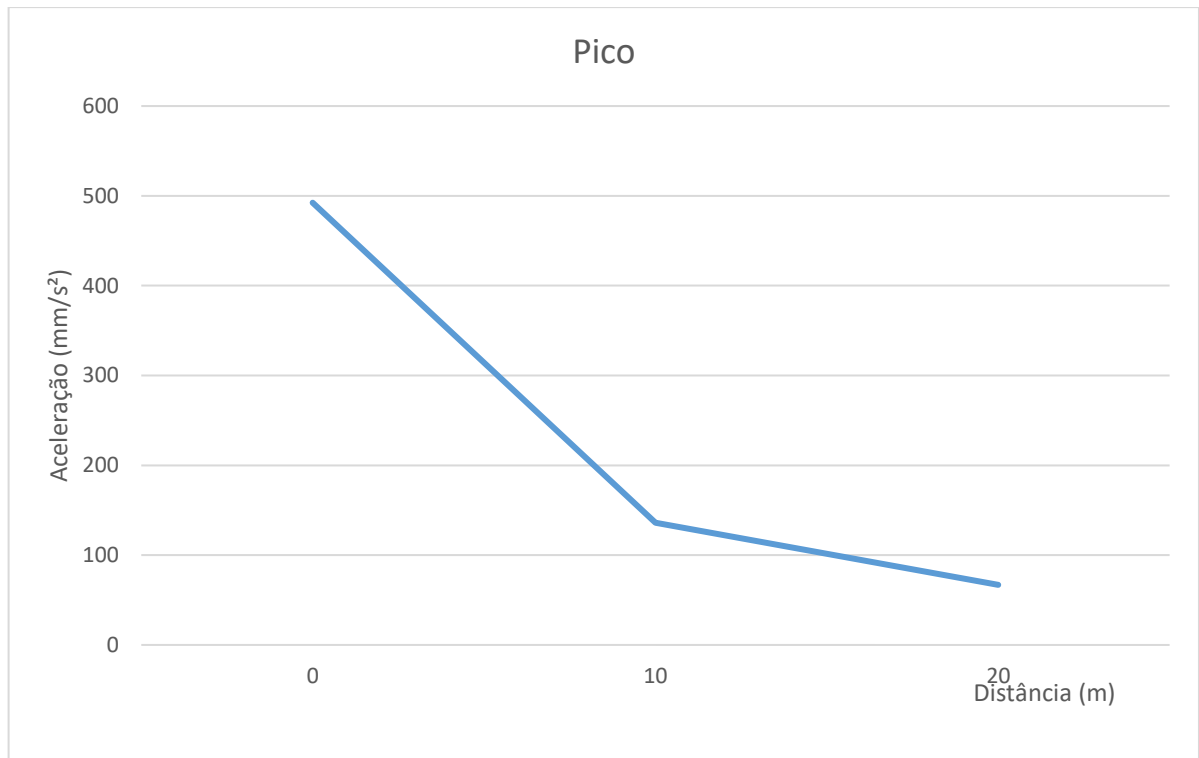
Gráfico 21: Resultante da aceleração do carro com a distância.



Fonte: Autoria própria (2019).

O Gráfico 22 mostra como ocorre a redução do vetor resultante de aceleração do Ônibus com o aumento da distância da fonte de vibração, esse apresenta uma queda de vibração mais acentuada similar ao comportamento obtido por Brito (2014) na medição de vibração de uma ferrovia.

Gráfico 22: Resultante da aceleração do ônibus com a distância.



Fonte: Autoria própria (2019).

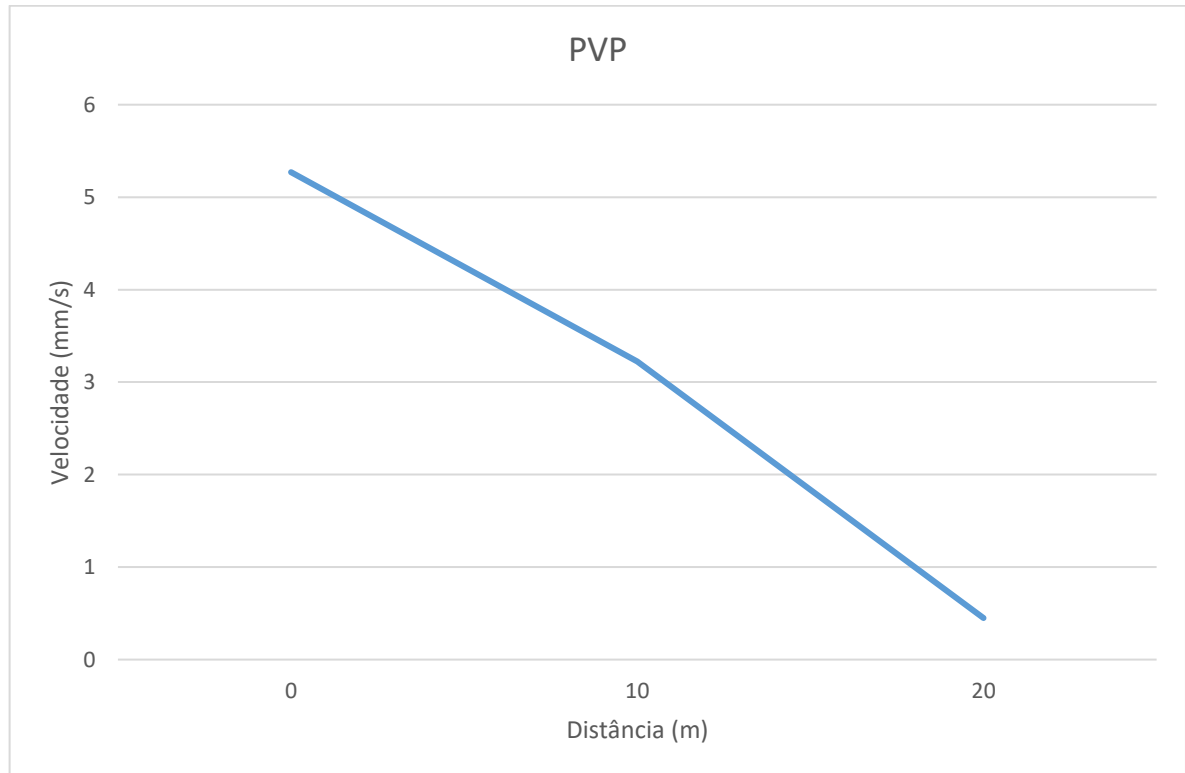
4.4 PVP DETECTADO NO LOCAL DA MEDIÇÃO

No Gráfico 22 o PVP oscilou de 5,27 mm/s quando o sensor estava próxima a rodovia, para 3,22 mm/s quando o sensor estava a 10 metros da rodovia e chegou a 0,13 mm/s quando o sensor estava a 20 metros da rodovia.

No ponto mais próximo da rodovia e a 10 metros, os PVP's registrados de 5,27 mm/s e 3,22 mm/s não oferecem risco as construções, mesmo da categoria 3 que possuem o limite de 8 mm/s seguindo a norma DIN 4150-3 (1999).

No entanto esse nível de vibração causa incômodos aos residentes, porque de acordo com a norma ISO 2631-2 (1993). O nível de PVP máximo em escritórios é de 0,4 mm/s, para evitar transtornos a quem está dentro da edificação.

No ponto de medição localizado a 20 metros da rodovia, o nível de vibração está dentro do aceitável para o uso e ocupação da edificação. fica perceptível que da mesma forma que a resultante da aceleração mostrou uma queda gradual e quase proporcional em função da distância, o mesmo comportamento ocorreu na medição do PVP nesses três pontos.

Gráfico 23: PVP do carro em função da distância.

Fonte: Autoria própria (2019).

Na Tabela 1 é apresentado o resumo das informações captadas pelo equipamento.

Tabela 1: resumo dos resultados medidos in loco.

	Distância (m)			
Veículo	0	10	20	PVP
Carro	0,6	0,26	1,4	(mm/s)

Fonte: Autoria própria.

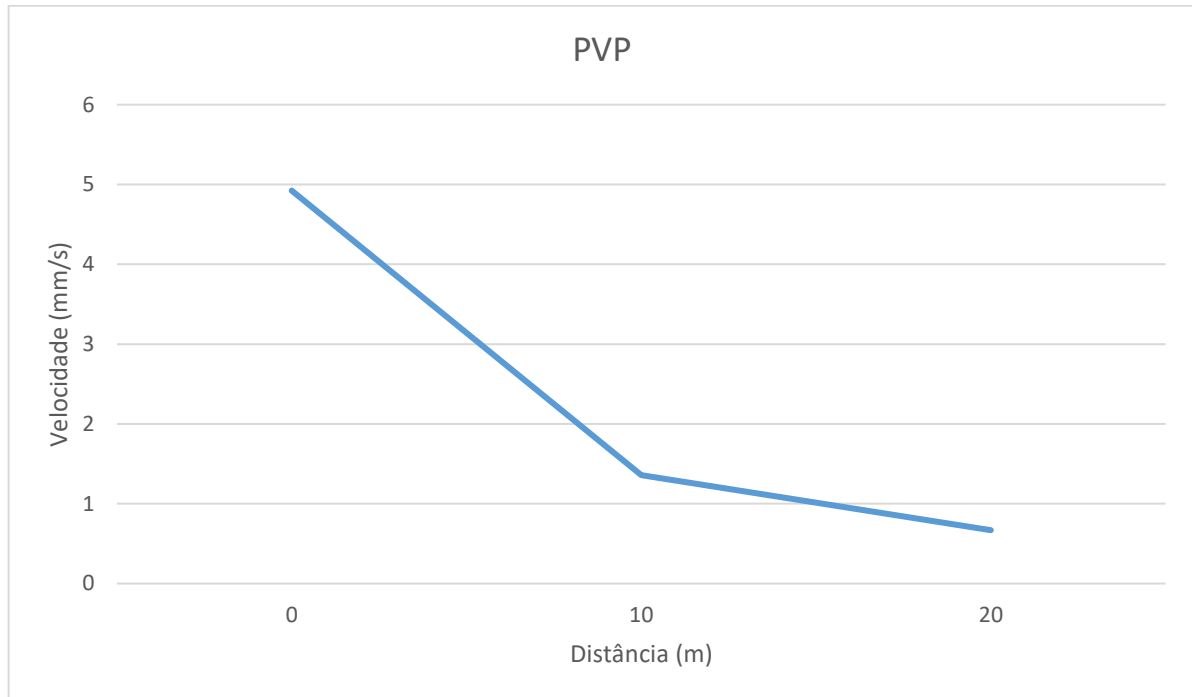
No ponto mais próximo da rodovia e a 10 metros, os PVP's registrados de 4,92 mm/s e 1,35 mm/s não oferecem risco as construções, mesmo da categoria 3 que possuem o limite de 8 mm/s seguindo a norma DIN 4150-3 (1999).

No entanto esse nível de vibração causa incômodos aos residentes, porque de acordo com a norma ISO 2631-2 (1993). O nível de PVP máximo em escritórios é de 0,4 mm/s, para evitar transtornos a quem está dentro da edificação.

No ponto de medição localizado a 20 metros da rodovia, o nível de vibração está fora do permitido pela norma ISO 2631-2 (1993), em ambientes de escritório,

essa vibração pode causar incômodos as pessoas tenham uma edificação a essa distância de uma rodovia com o pavimento em paralelepípedo.

Gráfico 24: PVP do Ônibus em função da distância.



No Gráfico acima a variação de oscilação ocorreu uma de forma mais brusca similar ao que foi encontrado por Brito (2014), ao medir o PVP de uma linha férrea em diferentes distâncias. Na tabela 2 a seguir estão mostrados o resumo dos resultados medidos pelo equipamento de baixo custo.

Tabela 2: resumo dos resultados medidos in loco.

	Distância (m)			
Veículo	0	10	20	PVP
Ônibus	0,9	0,39	0,2	(mm/s)

Fonte: Autoria própria.

Com essas últimas medições, observou-se que as vibrações causadas pelo veículo foram se atenuando à medida que a distância da rodovia aumentava. O equipamento conseguiu detectar essa variação de distância na redução do sinal emitido pelo veículo até permanecer na vibração natural do sistema.

Essas medições mostram que o comportamento obtido pelo Arduino com o Acelerômetro está dentro do esperado pela literatura mencionada anteriormente, no qual na distância de 20 e 30 metros as vibrações sofrem uma grande redução.

Os resultados obtidos pelos Arduino, apresentam um comportamento semelhante ao detectado por Gevú, Silvos e Varela (2018), que foi detectado uma redução na vibração com o aumento da distância do equipamento em relação a rodovia.

O equipamento utilizado no experimento apresentou um custo total de U\$ 17,00, enquanto outros equipamentos utilizados nas pesquisas citadas apresentam um valor médio de U\$ 414,35.

5 CONCLUSÕES

O equipamento apresentou o comportamento esperado durante as medições feitas mostrou uma redução nos sinais de vibração à medida que a distância da fonte emissora para o equipamento era aumentada, assim aumentando a área que a onda vibratória precisa percorrer.

Com os dados obtidos na medição das vibrações do carro de passeio, no quesito aceleração, em vetores separados, ocorreu uma redução menos brusca entre as distâncias de 0 e 10 m, porém na distância de 20 m ocorreu uma queda drástica nas perturbações registradas pelo aparelho.

Na avaliação da resultante da velocidade e o PVP, foi percebido que o gráfico apresentou uma queda quase uniforme, com o primeiro trecho de 0 a 10 m apresentando uma queda menos acentuada e no trecho de 10m a 20 m ocorrendo uma queda mais acentuada na vibração.

Com os dados obtidos na medição das vibrações do ônibus, no quesito aceleração, em vetores separados, ocorreu uma redução brusca entre as distâncias de 0 e 10 m, porém na distância de 20 m ocorreu uma queda suave nas perturbações registradas pelo aparelho.

Na avaliação da resultante da velocidade e o PVP, foi percebido que o gráfico apresentou uma queda similar ao registrado no trabalho de Brito (2013), quando analisou as vibrações vindas de uma composição férrea, com o primeiro trecho de 0 a 10 m apresentando uma queda acentuada e no trecho de 10m a 20 m ocorrendo uma queda menos acentuada na vibração.

BIBLIOGRAFÍA

ATTEWELL, P. B.; SELBY, A. R.; UROMEIHY, A. Appraisal of Ground Vibration Form Civil Engineering Construction. **International Journal of Mining and Geological Engineering**, v. 7, p. 183-208, 1989.

DE BRITO, Luiz Antonio Perrone Ferreira; KAMIMURA, Quésia; DOS SANTOS, Ademir Pereira. Influência da vibração gerada pelo tráfego ferroviário no meio urbano. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 5, n. 2, p. 31-39, 2014.

BRITO, Luiz Antonio; DE SOUZA SOARES, Álvaro Monoel; NAZARI, Bianca. Vibração: fonte de incômodo à população e de danos as edificações no meio urbano. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 1, p. 129-141, 2013.

BRITO, Luiz Antonio. Avaliação das principais fontes de vibração no meio urbano. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 4, p. 233-249, 2014.

BRITISH STANDARD. **BS 7385-1**: evaluation and measurement for vibration in building: part 1: guide for measurement of vibrations an evaluation of their effects on buildings. London, 1990.

BRITISH STANDARD. **BS 7385-2**: evaluation and measurement for vibration in building: part 2: guide to damage levels from ground borne vibration. London, 1993.

BRITISH STANDARD. **BS 5228-2**: code of practice for noise and vibration control on construction and open sites Vibration. London, 2009.

CHAVES, G. V. A. et al. Faixa de Domínio e Sua Relação Com a Redução de Vibrações Produzidas Por Trens de Superfícies em Áreas Urbanas. **Revista Transportes**, v. 17, n. 1, p. 39-45, 2009.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG. **DIN 4150-3**: vibration in buildings, effect in structures. Berlin, 1999.

FRANÇOIS, S. et al. **The Influence of Dynamic Soil: structure interaction on traffic induced vibrations in buildings**. Soil Dynamic And Earthquake Engineering, v. 27, n. 7, p. 655-674, 2007.

Gevú, N. V., Silvosso, M. M., & Varela, W. D. **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA VIBRAÇÃO RODOVIÁRIA SOBRE O PAVILHÃO ARTHUR NEIVA/FIOCRUZ**. 2018

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 4866**: mechanical vibration and shock: vibration of buildings: guidelines for the measurement of vibration and evaluation of their effects on buildings. Geneva, 1990.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 2631-2: Mechanical vibration and shock: evaluation of human exposure to whole-body vibration: part 2: vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz). Geneva, 1993.

NÚÑEZ, André F. Uma Introdução ao ARDUINO e suas Aplicações na Robótica. **Acessado em: 2ª quinzena de novembro de, 2016.**

PETREIRE, Vanderlise Giongo et al. Planossolos. 2019. EMBRAPA. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/bioma_caatinga/arvore/CONT000g5twggzh02wx5ok01edq5s189t6ux.html>. Acesso em: 26 nov. 2019.

SOUZA, Fábio Bezerra de. **Arduino - Interface com acelerômetro e giroscópio**. 2015. Disponível em: <<https://www.embarcados.com.br/arduino-acelerometro-giroscopio/>>. Acesso em: 20 nov. 2019.