



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS DELGADO ZUZA

AVALIAÇÃO DO USO DE EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO DE PONTES

ANGICOS/RN

2023.1

MATHEUS DELGADO ZUZA

AVALIAÇÃO DO USO DE EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO DE PONTES

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

Orientador: Prof. Dr. Klaus André de Sousa
Medeiros

Co-orientador: Prof. Dr. Wendell Rossine
Medeiros de Souza

ANGICOS/RN

2023

© 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 tomar-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.

DZ96a Delgado, Matheus.
AVALIAÇÃO DO USO DE EQUIPAMENTOS DE BAIXO
CUSTO PARA MONITORAMENTO DE PONTES / Matheus
Delgado. - 2023.
38 f. : il.

Orientadora: Klaus Medeiros.
Coorientadora: Wendell Souza.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2023.

1. Ponte. 2. Deslocamento. 3. Arduino. 4.
Acelerômetro. 5. Monitoramento. I. Medeiros,
Klaus, orient. II. Souza, Wendell, co-orient.
III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Biblioteca Campus Angicos
Bibliotecário: Helder Romero Maia Duarte
CRB: 15/673

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MATHEUS DELGADO ZUZA

AVALIAÇÃO DO USO DE EQUIPAMENTOS DE BAIXO CUSTO PARA
MONITORAMENTO DE PONTES

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

Defendida em: 11 /10 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 KLAUS ANDRE DE SOUSA MEDEIROS
Data: 20/10/2023 12:46:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Klaus André de Sousa Medeiros
Orientador

Documento assinado digitalmente
 WENDELL ROSSINE MEDEIROS DE SOUZA
Data: 20/10/2023 18:42:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Wendell Rossine Medeiros de Souza (UFERSA)
Coorientador

Documento assinado digitalmente
 MARCILENE VIEIRA DA NOBREGA
Data: 20/10/2023 16:24:18-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Marcilene Vieira de Nobrega (UFERSA)
Membro Examinador

Documento assinado digitalmente
 IGOR JOSE NASCIMENTO DE MEDEIROS
Data: 20/10/2023 15:36:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Igor Jose Nascimento de Medeiros (UFERSA).
Membro Examinador

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, a minha família, por ser o alicerce que me sustenta em todas as jornadas. Aos meus amigos, cujas risadas e apoio tornaram esta caminhada inesquecível. Ao meu orientador, pelo guia constante através dos desafios acadêmicos. A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para este capítulo da minha vida, o meu mais sincero agradecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço de coração a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao meu orientador Klaus André de Sousa Medeiros, pela orientação cuidadosa, expertise e paciência ao longo deste processo, por ter me acolhido e por ter confiado que daria certo. Suas sugestões e orientações foram certamente inestimáveis.

Ao meu coorientador Wendell Rossine Medeiros de Souza, pela valiosa colaboração, apoio e insights que enriqueceram o desenvolvimento desta monografia, por cada puxão de orelha, por todos os conselhos, por cada hora gasta conversando sobre minhas dúvidas e sem dúvida por ter tanta paciência.

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

À minha querida família, pelo amor, apoio incondicional e encorajamento que me deram em todos os momentos. A Fábio Silva que me acolheu quando eu precisei de um tempo para escrever e me incentivou tanto para terminar logo, a meu irmão Lucas por sempre se preocupar se estava precisando de algo ou se poderia me ajudar de alguma forma. Sem vocês, este caminho seria muito mais difícil.

Aos meus amigos, Layane, Fernanda, Pedro Felix por sempre acreditarem muito em mim, me dando conselhos e brigando comigo quando era necessário, também a Stela, Rammon e Eduarda, que sempre me apoiaram e me acolheram como parte da família, sem dúvida o apoio e companhia de vocês fizeram esta jornada acadêmica ser mais leve e significativa. Suas palavras de ânimo e os momentos compartilhados serão lembrados sempre com carinho.

E por fim a Liana que sempre me apoiou em todos os momentos que precisei, que ficou cansada de tanto me escutar falar sobre coisas que ela não fazia a menor ideia que eu tava falando, mas mesmo assim se mostrava interessada por saber que me faria bem.

Muito obrigado a todos vocês.

"Com cada desafio superado, construímos uma
ponte sólida em direção ao sucesso."

Autor desconhecido

RESUMO

O presente trabalho aborda a temática do monitoramento do deslocamento de pontes por meio de um dispositivo de baixo custo constituído de um Arduino UNO e um acelerômetro GY-521. Um estudo de caso foi realizado na ponte localizada no município de Jucurutu, cujos resultados foram favoráveis e indicativos da eficácia do equipamento em coletar dados relevantes para a avaliação do deslocamento da referida estrutura. O estudo evidenciou a viabilidade da aplicação dessa solução de baixo custo em cenários semelhantes. Nesse contexto, o artigo ressalta os aspectos positivos do projeto, como a acessibilidade dos componentes empregados e a confiabilidade dos dados obtidos. Além disso, são apresentadas sugestões para a eventual implementação do projeto em um contexto de monitoramento real, propondo a adoção de uma rede de sensores para abranger diversas áreas da ponte. Adicionalmente, é ponderada a necessidade de um sistema de armazenamento mais robusto do que o Excel, a fim de acomodar a crescente quantidade de dados gerados em uma operação de monitoramento contínuo. Os resultados foram favoráveis e indicativos da eficácia do equipamento em coletar dados relevantes para a avaliação do deslocamento da referida estrutura. O estudo evidenciou a viabilidade da aplicação dessa solução de baixo custo em cenários semelhantes. Em síntese, este estudo ilustra que recursos acessíveis como o Arduino podem desempenhar um papel crucial na supervisão e monitoramento de estruturas como pontes minimizando os custos.

Palavras-chave: Ponte, Deslocamento, Arduino, Acelerômetro, Monitoramento.

ABSTRACT

This research paper addresses the theme of monitoring the displacement of bridges through a low-cost device consisting of an Arduino UNO and a GY-521 accelerometer. A case study was conducted on the bridge located in the municipality of Jucurutu, yielding results that were favorable and indicative of the equipment's effectiveness in collecting relevant data for the evaluation of the displacement of the mentioned structure. The study demonstrated the feasibility of applying this low-cost solution in similar scenarios. In this context, the paper highlights the positive aspects of the project, such as the accessibility of the components used and the reliability of the data obtained. Additionally, suggestions are presented for the eventual implementation of the project in a real monitoring context, proposing the adoption of a sensor network to cover various areas of the bridge. Furthermore, the need for a more robust storage system than Excel is considered to accommodate the increasing amount of data generated in continuous monitoring operations. The results were favorable and indicative of the equipment's effectiveness in collecting relevant data for the evaluation of the displacement of the mentioned structure. The study demonstrated the feasibility of applying this low-cost solution in similar scenarios. In summary, this study illustrates that accessible resources like Arduino can play a crucial role in the supervision and monitoring of structures such as bridges, minimizing costs.

Keywords: Bridge, Displacement, Arduino, Accelerometer, Monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Conexão entre o Arduino UNO e o Acelerômetro GY-521.....	21
Figura 2	–	Código para o funcionamento do Arduino... ..	22
Figura 3	–	Amostragem de formatação do padrão de saída... ..	23
Figura 4	–	Teste controlado em laboratório.....	26
Figura 5	–	Localização dos pontos de análise na ponte em estudo.....	28
Figura 6	–	Variação de teste controlado com monitoramento no centro da tábua... ..	29
Figura 7	–	Variação no ponto 12.....	30
Figura 8	–	Variação na ponta da tábua... ..	30
Figura 9	–	Variação da vibração sem trânsito.....	31
Figura 10	–	Variação de vibração sem tráfego usando o ponto 105 da Figura 6 como referência.....	32
Figura 11	–	Variação no P2... ..	32
Figura 12	–	Variação da vibração entre dois carros no P2... ..	33
Figura 13	–	Variação da vibração no P3.....	34
Figura 14	–	Padrão em vibrações em meio a coluna.....	34
Figura 15	–	Variação da vibração no P4.....	35
Figura 16	–	Variação em escala menos espaçada do tempo de 50s do P4... ..	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MIE Monitoramento de Integridade Estrutural

VP Vibração em Ponte

SI Sistema Internacional de Medidas

DMP Digital Motion Processor

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo geral.....	13
1.1.1 Objetivo específico	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Vibrações em pontes.....	14
2.2 Tipos de vibrações em pontes	15
2.2.1 Vibração de tráfego.....	15
2.2.2 Vibração causada pelos ventos.....	15
2.2.3 Vibrações sísmicas.....	16
2.3 Formas de mitigação das vibrações em pontes	16
2.4 Utilização da plataforma Arduino no monitoramento de VP	16
2.5 Aplicação da Lei de Hook nas VP	17
2.6 A importância das pontes não serem rígidas (do ponto de vista das normas)	17
3. METODOLOGIA	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Resultados encontrados em laboratório.	27
4.2 Vibração natural da ponte sem trânsito (P1).....	29
4.3 Vibração na entrada da ponte (P2).....	30
4.4 Variação a um terço da ponte (P3).....	31
4.5 Verificação no meio da ponte (P4).....	33
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS.....	35
APÊNDICES	39

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da sociedade e o aumento demográfico da população, a cada dia se tem a necessidade do aumento das vias de mobilidade e o desenvolvimento das rodovias, sendo necessário o uso de algumas estruturas para transpor diversos obstáculos. Entre essas estruturas estão as pontes, que são construídas para facilitar a ligação de localidades, sendo possível superar obstáculos como rios e vales (Britos, 2014).

As pontes possuem papéis bem importantes na sociedade, tanto para o transporte de pessoas como de cargas, tanto quando falamos de rodovias, quanto de ferrovias. Nesse contexto podemos dizer que o monitoramento dessas grandes estruturas são de extrema importância para a segurança de quem as utiliza. (Silva, 2015).

O Monitoramento da Integridade Estrutural (MIE) permite prever possíveis danos estruturais que possam surgir sob várias condições de carregamento. Assim, é possível adotar medidas corretivas com tempo hábil para que os problemas em questão não causem algum tipo de transtorno. Além disso, o monitoramento contínuo ajuda na compreensão de cada estrutura fazendo com que seja possível ajustar e melhorar cada vez mais sua performance e de pontes semelhantes (Silva, 2015).

Para que tudo isso seja possível, é necessário entender as excitações provocadas pelos veículos em meio às estruturas quando estão submetidas a diferentes frequências de vibração. Estas frequências podem acabar ocasionando diversos problemas patológicos, desde desgaste a problemas na própria estrutura em pontes mais antigas (Britos, 2013). Entretanto, a implementação de redes sensoriais para alimentação dos algoritmos são de alto custo, tornando-se um investimento alto para quem monitora as estruturas. Ademais, necessita-se de espaço físico para a sua aplicação, tornando-se muitas vezes um custo inviável a implementação do MIE, principalmente se for no caso de sensores cabais (Chandrasekaran, 2016).

O equipamento da plataforma Arduino aparece nesse momento como uma alternativa de baixo custo que é capaz de fazer o trabalho de aquisição dos dados necessários. A plataforma conectada a outros dispositivos é capaz de adquirir as informações necessárias para a análise semelhante ao equipamento utilizado através do MIE, como giroscópios ou amplificadores operacionais de sinais (Pinto, 2015).

O Arduino é uma plataforma de código aberto que possui um hardware e software de fácil manuseio, o que pode ser usado basicamente como o cérebro do projeto, servindo para unir e identificar os dados. Essa plataforma é usada como parte do corpo de projetos básicos como também em *Internet of Things* (IoT), ou seja, também é aplicado em processos mais complexos como trabalhos científicos mais robustos.

1.1 Objetivo geral

O referido trabalho tem como objetivo principal estudar o monitoramento de pontes com equipamento de baixo custo, assim como, mostrar como se faz o armazenamento dos dados coletados e seu tratamento.

Sendo possível assim, mesmo em meio a dificuldades, também ter uma base de informações que possa assegurar aos usuários segurança a uma possível falha estrutural que possa vir a ocorrer por falta de manutenção ou fenômenos patológicos, tentando provar o seu possível uso em meio a sistemas de monitoramentos de pontes de uma forma mais barata e fácil de manusear.

1.1.1 Objetivo específico

Verificar a sensibilidade do sensor e a integridade do arduino com o acelerômetro em testes realizados de forma controlada em laboratório.

Verificar a aceleração causada pelo trânsito nos eixos de apoios e em vãos livres das pontes.

Utilizar gráficos gerados com base em um banco de dados coletado pelo Arduino para verificar a estabilidade da ponte e entender como esta se comporta em meio aos esforços causados pelo trânsito e por fatores externos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Vibrações em pontes

Embora as pontes sejam consideradas por muitos como uma grande obra de arte, elas são mais do que isso, são estruturas complexas, cuja construção exige algumas peculiaridades, tais como um conhecimento específico, materiais de extrema qualidade, além de diversas análises por toda região de sua implantação (análises de riscos ambientais e urbanos) (ABNT NBR 7188:2013; ABNT NBR 6118:2014).

As pontes são estruturas essenciais para o transporte e estão sujeitas a diversos esforços, entre estes estão as vibrações. As vibrações podem ser ocasionadas pela atuação do vento, por abalos sísmicos que possam ocorrer eventualmente dependendo de cada região, pela deformação do solo, mas como principal motivo aparece o tráfego dos transportes. Este último que depende de diversos fatores, sejam eles: o peso, a quantidade de veículos, o tipo (pesado, leve, ferroviário) e, não menos importante, a velocidade trafegada (Silva et al., 2019).

É preciso ter muito cuidado quando se fala de vibrações em estruturas de pontes. Determinadas vibrações sobre uma estrutura desse porte podem ocasionar diversos problemas, gerando falhas progressivas, ou uma fadiga estrutural, podendo chegar a um colapso catastrófico (Costa et al., 2020). Temos como exemplo o famoso caso da Ponte de Tacoma em Washington (Estados Unidos da América), onde no dia 7 de novembro de 1940 a ponte entrou em colapso; diversas suspeitas foram levantadas sobre problemas de projeto, materiais de baixa qualidade, entre outros, mas o que se sabe de fato é que a ponte entrou em uma frequência que a levou ao rompimento.

Patologias como trincas e fissuras nas estruturas causadas por efeito de vibração podem ser bastante prejudiciais, reduzindo sua capacidade de carga, como também comprometendo sua estabilidade, além de ser extremamente desagradável para quem trafega, causando falta de segurança e desconforto (Mendes et al., 2019).

2.2 Tipos de vibrações em pontes

Podemos dividir as vibrações em pontes (VP) em diversos tipos, cada um com seu causador específico, levando em consideração diversas classes de intenção. Entre elas estão as mais importantes causadas pelo trânsito, ventos e abalos sísmicos, que são os maiores responsáveis por fadiga ou danos estruturais (Silva et al., 2019).

2.2.1 Vibração de tráfego

A vibração através do tráfego é causada pela passagem dos veículos sobre a ponte na travessia, dependendo da velocidade, tipo de veículo e da carga. Tais vibrações ao longo do tempo podem causar problemas significativos na estrutura da ponte, podendo chegar a danos estruturais e fadiga da estrutura (Silva et al., 2019).

2.2.2 Vibração causada pelos ventos

O vento sempre está presente em toda vida útil da ponte, exercendo forças dinâmicas sobre a superfície. Diferentemente das vibrações causadas pelo tráfego, o que mais influencia é a geometria da própria ponte, como modelo e o tamanho, afetando diretamente no conforto de quem a utiliza (Silva et al., 2019).

2.2.3 Vibrações sísmicas

As vibrações sísmicas, como o próprio nome já diz, são causadas por terremotos que toda terra sofre de maneira permanente. Essa perspectiva é muito considerada de região para região, mas sempre levando em consideração que a terra não deixa de sofrer algum tipo de abalo, seja ele significativo ou não. Portanto, as pontes precisam ser capazes de suportar as frequências expostas, podendo levar a um dano estrutural severo ou até mesmo colapso (Silva et al., 2019).

2.3 Formas de mitigação das vibrações em pontes

São diversos os tipos de formas de mitigação, sendo um deles a análise avançada da estrutura para que se possa entender como a ponte se comporta em meio às vibrações que eventualmente ela está sujeita. A partir desse ponto, torna-se possível desenvolver estratégias para redução das vibrações, tanto por abordagens passivas quanto ativas, levando em consideração as circunstâncias específicas de cada caso (Barbosa et al., 2021).

Contudo, a manutenção preventiva é uma excelente maneira de manter as estruturas em excelente estado e para que isso seja possível é necessário que seja feita uma avaliação regular da integridade da ponte. Avaliação esta que pode ser feita através de sensores de vibração e deslocamento, como também de acelerômetros. Esses dados podem servir de grande utilidade para geração de informação, identificando se é necessário reparo em determinado ponto ou não (Souza et al., 2020).

2.4 Utilização da plataforma Arduino no monitoramento de VP

Com o alto custo na utilização de outros equipamentos eletrônicos para o monitoramento, o Arduino aparece como uma alternativa de baixo custo. Por ser uma plataforma de prototipagem de código aberto, o mesmo permite o desenvolvimento de um sistema acessível que seja capaz de entregar dados satisfatórios sobre o monitoramento de forma bem flexível (Martins et al., 2018; Souza, 2017).

Basicamente, o Arduino serve como o cérebro do sistema, que junto a ele são utilizados sensores como alguns acelerômetros que são capazes de recolher os dados. Os sensores transformam as vibrações em cargas elétricas de forma que o Arduino as entenda. O equipamento pode ser programado para receber os dados e então tratá-los ou armazená-los da melhor forma possível (Nery et al., 2019).

Algumas pesquisas abordam esse tópico, o que confere confiabilidade à plataforma no contexto de monitoramento de estruturas de grande porte. Por exemplo, Souza (2017) explora uma rede de sensores integrada à plataforma Arduino para monitorar o estado de pontes sem demandar um investimento significativo. Além disso, Martins et al. (2018) conduziram um estudo de caso usando o próprio Arduino em conjunto com sensores para realizar as avaliações necessárias.

Portanto podemos verificar a viabilidade e confiabilidade no uso do Arduino no monitoramento das VP, claro que vale a ressalva da importância de uma programação bem realizada e da calibragem correta dos equipamentos utilizados em questão (Souza, 2017)

2.5 Aplicação da Lei de Hook nas VP

Como tudo na física é comprovado através de fórmulas matemáticas, as vibrações das pontes não são diferentes. Segundo Ribeiro (2018), é de extrema importância a aplicação da Lei de Hook no referido estudo, fornecendo um modelo matemático que é capaz de descrever o comportamento elástico das estruturas.

Segundo a Lei de Hook, a força restauradora é diretamente proporcional ao deslocamento da estrutura, podendo ser expressada pela Equação 1.

$$F = - kx \quad (\text{Eq. 1})$$

F é a força restauradora;

k é a constante da mola;

x é o deslocamento da estrutura.

No estudo das VP, a Lei de Hook pode ser aplicada em diversos elementos estruturais, assim também como na ponte como um todo, pois o modelo matemático tem o objetivo de entender as vibrações naturais da estrutura e suas respostas dinâmicas.

2.6 A importância das pontes não serem rígidas (do ponto de vista das normas)

Cita-se o comportamento dinâmico das estruturas como um aspecto crucial quando tratamos de pontes. Essas estruturas estão vulneráveis a diversas variações de esforços, como o tráfego urbano, os ventos, abalos sísmicos e movimentação de cargas em geral. Quando temos uma ponte totalmente rígida, essas variações podem causar danos estruturais de forma a chegar a colapsar, deixando em risco a segurança e o bem estar do usuário (ABNT NBR 7188:2013).

As pontes flexíveis, por sua vez, permitem que as estruturas se adequem aos esforços variáveis, sendo capaz de absorver as tensões móveis, reduzindo a concentração de tensões dentro da estrutura, essas pontes flexíveis podem estender

consideravelmente sua vida útil. Além disso, elas possuem a capacidade de se adaptar a variações ambientais, como compactação do solo e expansão do terreno, uma característica especialmente relevante em regiões como o Brasil, onde solos expansivos são comuns (DNIT-ME 034/2011).

As pontes flexíveis também apresentam grande resistência a carga, ditas como cargas extremas. As pontes flexíveis são capazes de contrair e dissipar as energias geradas por eventos catastróficos, reduzindo as tensões nelas e aumentando a resistência da estrutura em eventos sísmicos. Como também acontece em grandes rajadas de ventos, onde a ponte se adequa às rajadas de ventos, reduzindo as cargas laterais, fazendo com que os efeitos não sejam tão agressivos à estrutura (DNIT-ME 087/2017).

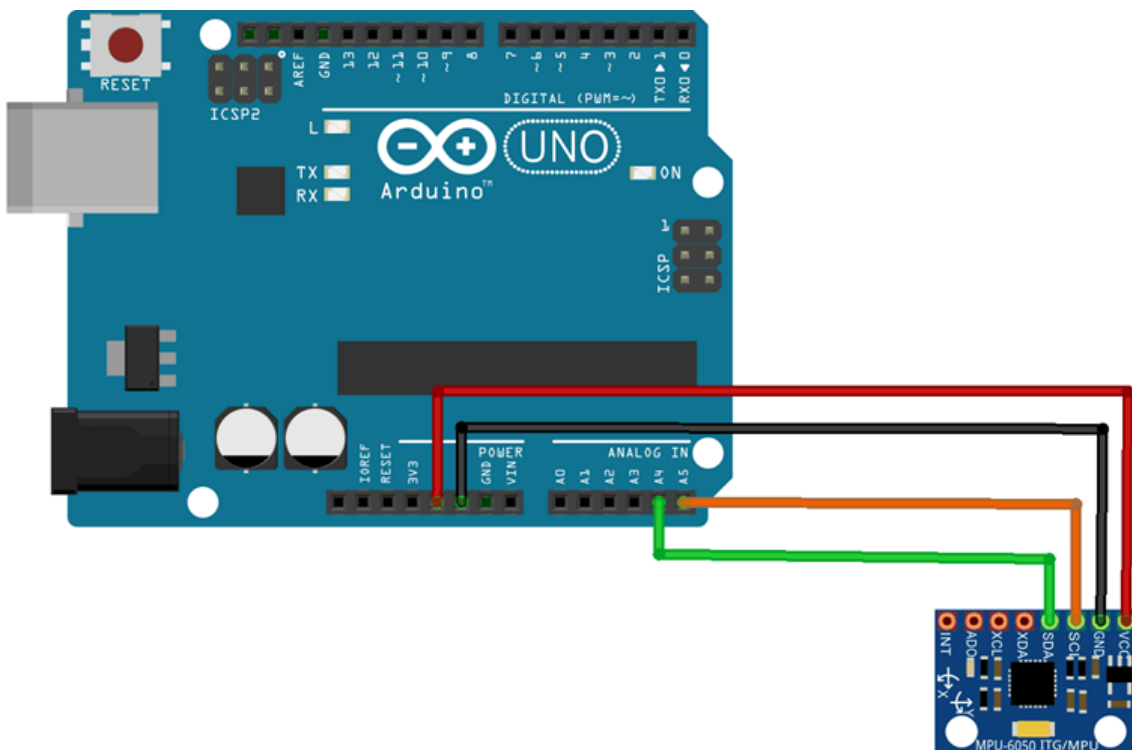
Pontes flexíveis tendem a ter uma vida útil maior em comparação com as rígidas, pois a capacidade que as flexíveis possuem de se adaptar às cargas variáveis fazem com que elas diminuam a fadiga, evitando trincas e danos estruturais mais sérios. Além de conseguir implementar mais facilmente um sistema de monitoramento para a estrutura (DNIT-ME 022/2007).

3. METODOLOGIA

No presente trabalho foi utilizado como material para fazer a obtenção de dados a placa Arduino Uno conectada a um acelerômetro GY-521, que segundo Souza (2015), este acelerômetro é baseado no CI MPU-6050 da InvenSense. O protótipo possui 6 eixos de medições, sendo três para a aceleração e mais três para giroscópio, com a possibilidade de uma ligação para um magnetômetro.

Souza (2015) ainda fala que este acelerômetro possui um diferencial, que é o *Digital Motion Processor* (DMP). O DMP consegue fazer com que o algoritmo de detecção de movimento seja processado na própria placa, aliviando o microcontrolador de fazer essa tarefa. Isso graças aos conversores de 16 bits e um *buffer* FIFO de 1024 bytes, o qual pode servir de armazenamento em situações necessárias. Isso só é possível com a união do acelerômetro em questão e o respectivo Arduino, no qual foi realizado a configuração como é representada na Figura 1.

Figura 1: Conexão entre o Arduino UNO e o Acelerômetro GY-521.



Fonte: Souza(2015).

Como o Arduino é uma plataforma aberta, então foi decidido utilizar uma programação similar a feita por Souza (2015), porém com alteração no intervalo de tempo de captura dado na Figura 2 (linha 57). Uma vez que o objetivo é obter dados bem específicos de vibrações, foi decidido utilizar um delay de 10 milissegundos para atender melhor a situação e ter uma captura mais precisa do deslocamento da estrutura em estudo.

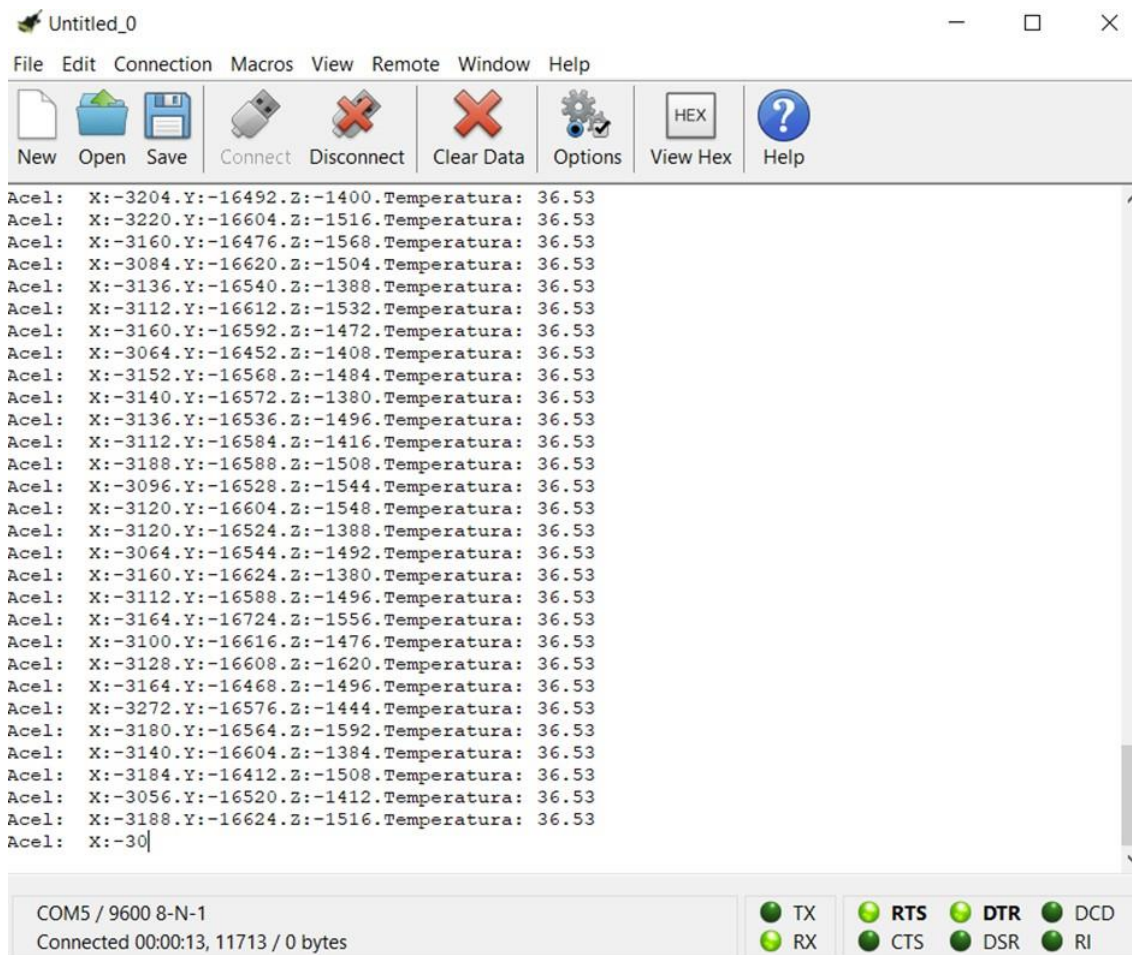
Figura 2: Código para o funcionamento do Arduino.

```
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(10);
58 }
```

Fonte: Autoria Própria (2023).

Com a programação do Arduino Uno pronta e feita a conexão adequada entre as placas, a extração dos resultados numéricos dos três eixos sai no formato apresentado na Figura 3.

Figura 3: Amostragem de formatação do padrão de saída.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Como o Arduino traz as coordenadas separadas, foi aplicada a Equação 2 em todos os dados obtidos para que fosse possível trabalhar com a aceleração resultante das partículas.

$$V = \sqrt{(x^2 + y^2 + z^2)} \quad (\text{Eq. 2})$$

Utilizando o vetor resultante da aceleração obtida pelos três eixos (X, Y e Z), torna-se possível a padronização das unidades de medida internacionalmente estabelecidas pelo Sistema Internacional de Unidades (SI), criado em 1960. A definição

desse vetor resultante de aceleração permite a obtenção da velocidade da partícula por meio da Equação 3.

$$a = \Delta V / \Delta t \quad (\text{Eq. 3})$$

a é a aceleração;

ΔV é a variação da velocidade;

Δt é a variação do tempo.

O tratamento dos dados foi feito através do Microsoft® Excel®. Foi realizada toda a parte de conversão dos três vetores em sua resultante, assim como toda representação gráfica necessária para um melhor entendimento do assunto.

Ao interagir o Microsoft® Excel® com o Arduino, a planilha do Excel pode receber diretamente a transmissão dos dados em tempo real, permitindo que os usuários visualizem e analisem os dados com eficiência. Essa capacidade de integração é favorável para projetos que envolvem coletas de dados em tempo real, como sistemas de monitoramento ou controle, fornecendo uma maneira fácil e eficaz de visualizar e analisar os dados coletados pelo Arduino.

Todas as análises gráficas no presente trabalho foram efetuadas por meio do programa Microsoft® Excel®. Primeiramente foi realizada uma análise descritiva dos dados coletados, em que ajusta-se automaticamente às quaisquer atualizações de dados recebidos.

Para que os resultados apareçam de forma imediata, criou-se um banco de dados que identifica e comanda uma ação de acordo com o valor da célula. A condicional “=SE()”, integrada a outras fórmulas avançadas, foi a função lógica pré-estabelecida pelo programa mais utilizada para alcançar a automação.

Considerando agora os novos vetores, partiu-se para o cálculo matricial do produto vetorial e, conseqüentemente, do módulo deste último resultado. Assim foi construído o banco de dados desta pesquisa.

A Microsoft® Excel® tem alguns recursos que permitem trabalhar com eficácia e para facilitar o gerenciamento e a análise de um grupo de informações relacionados, toda a base de dados e o tratamento foram feitos a partir de Tabelas que permitem uma gestão estruturada do estudo.

A ferramenta de Segmentação de Dados foi usada na análise dos dados coletados, aplicando-se filtros visuais personalizados para tornar a filtragem de dados

mais rápida e fácil nas planilhas. Essas segmentações de dados são usadas somente em tabelas, tabelas dinâmicas e gráficos dinâmicos. Com isso, a análise gráfica foi feita a partir dos gráficos dinâmicos que foram criados com base nas tabelas; o gráfico é atualizado automaticamente conforme se edita os dados.

Depois que uma nova linha ou coluna é acrescentada à tabela, o gráfico se estende dinamicamente para incluir os novos dados. Quando excluídos os dados da tabela, o Excel® os elimina do gráfico imediatamente. Se com frequência um conjunto de dados se expandir ou contrair, o ajuste automático de um intervalo de origem de gráfico foi programado para que o mesmo se ajuste.

Por fim, para simplificar os dados e fornecer uma visão geral do status atual ou do desempenho em tempo real, foi criado um Dashboard, ou seja, um painel de controle para verificar e comparar os dados.

Todo o material usado foi doado ou reaproveitado. Para provar o baixo custo do projeto, foi realizado um levantamento de preço dos itens em três lojas que apresentaram valores mais satisfatórios conforme listados na Tabela 1 sem levar em consideração taxas extras ou algum tipo de frete e impostos.

Tabela 1: Tabela de custos.

PRODUTO				
	Mercado Livre	Magazine Luiza	Americanas	Valor Médio
Acelerômetro	R\$ 21,75	R\$ 21,90	-	R\$ 21,83
Arduino	R\$ 21,90	R\$ 28,90	-	R\$ 25,40
Cabo de Alimentação	R\$ 29,90	R\$ 28,90	-	R\$ 29,40
Caixa MDF 10X6x5	R\$ 3,39	R\$ 4,00	-	R\$ 3,70
Caixa MDF 12x9x5	R\$ 3,35	R\$ 2,00	-	R\$ 2,68
Fiação	R\$ 7,58	R\$ 7,20	R\$ 8,29	R\$ 7,69
Fita dupla face	R\$ 23,90	R\$ 29,98	R\$ 22,99	R\$ 25,62
Fita Isolante	R\$ 17,90	R\$ 9,90	R\$ 12,50	R\$ 13,43
Tesoura	R\$ 13,99	R\$ 6,90	R\$ 9,99	R\$ 10,29
Tripé de Extintor	R\$ 47,50	R\$ 48,54	R\$ 39,90	R\$ 45,31
TOTAL	R\$ 185,35			

Fonte: Autoria Própria (2023).

Vale lembrar que os materiais citados são o suficiente para a ligação de um sensor. Logo, para a ligação de mais sensores, alguns valores devem ser reconsiderados.

Foi utilizado um notebook com processador Intel® i5 de 11ª geração, com uma placa de vídeo geforce GTX 1650 com 4 GB da NVIDIA®, memória RAM de 8 GB e capacidade de armazenamento de 512 GB e sistema operacional com o windows 11 Home do próprio autor no tratamento dos dados.

O processador possui um desempenho mais que satisfatório para realizar o que foi proposto sem muitos problemas. Levando em consideração que a proposta seja minimizar os custos, a máquina utilizada se enquadra como adequada, mas uma máquina de menor potencial de desempenho também poderia ser usada como um notebook com processador compatível com um i3 de 10ª geração e sem placa de vídeo.

Finalizada a parte de programação, projeto e montagem, foi passado para a fase de testes. Onde foi realizado um teste em laboratório (meio controlado) para verificar se o equipamento conseguiria captar os dados necessários.

Primeiramente, foi montada uma ponte de ligação de madeira improvisada entre dois bancos, como mostra a Figura 4. As extremidades foram fixadas com uma fita especial de silicone.

Figura 4: Teste controlado em laboratório.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Em seguida foi verificado os dados nas extremidades a fim de simular um sensor posicionado mais próximo dos pilares de apoio, justamente os lugares de maiores riscos quando se trata de uma ponte muito rígida. Em seguida, o acelerômetro foi deslocado para o centro do elemento, de modo a testar se o equipamento estaria captando sinais mais diversos, já que mais afastado da extremidade o mesmo ficaria mais exposto às vibrações.

Isso permitiria uma comparação direta entre os resultados obtidos nos dois cenários. Em cada direção, foram aplicados toques sutis com uma barra de ferro ao longo de toda a extremidade do bastão. Vale ressaltar que os toques foram executados exclusivamente utilizando a força da gravidade em conjunto com o peso intrínseco da barra. Adicionalmente, todos os toques foram aplicados a alturas idênticas em ambos os testes.

A etapa seguinte foi a análise em uma ponte em atividade. Foi escolhido fazer o teste na ponte que liga as cidades de Jucurutu e Triunfo Potiguar, sobre o rio Piranhas-Açu, ambas situadas no Rio Grande do Norte. Foram adotados pontos estratégicos na ponte de forma que fosse possível entender como os abalos promovidos pelos carros poderiam afetar diretamente a estrutura da mesma.

Foram feitas 4 verificações (P1, P2, P3 e P4): uma com a ponte sendo tratada como repouso (P1), entendendo que a força do vento e os abalos sísmicos seriam constantes; segundo teste (P2) na entrada da ponte (mesmo ponto do P1); o terceiro (P3) em um terço da ponte, propositalmente sobre o apoio da ponte; e o último no meio da ponte (P4) e em meio a um balanço.

Cada teste durou de 2 a 4 minutos com algumas variações para que fosse possível conseguir capturar a maior quantidade de frequência possível. Levando em consideração que a ponte possui 352 metros de comprimento e é uma rota de extrema importância no comércio da região, foi inviável a paralisação desta para a realização dos testes. Portanto, a alternativa foi aproveitar a circulação local em um período de baixo fluxo para que fosse possível ser feito os testes com segurança e da melhor forma possível, obtendo-se três resultados diversos dos pontos discutidos em questão e mostrados em pontos destacados em vermelho na Figura 5.

Figura 5: Localização dos pontos de análise na ponte em estudo.



Fonte: Google Earth

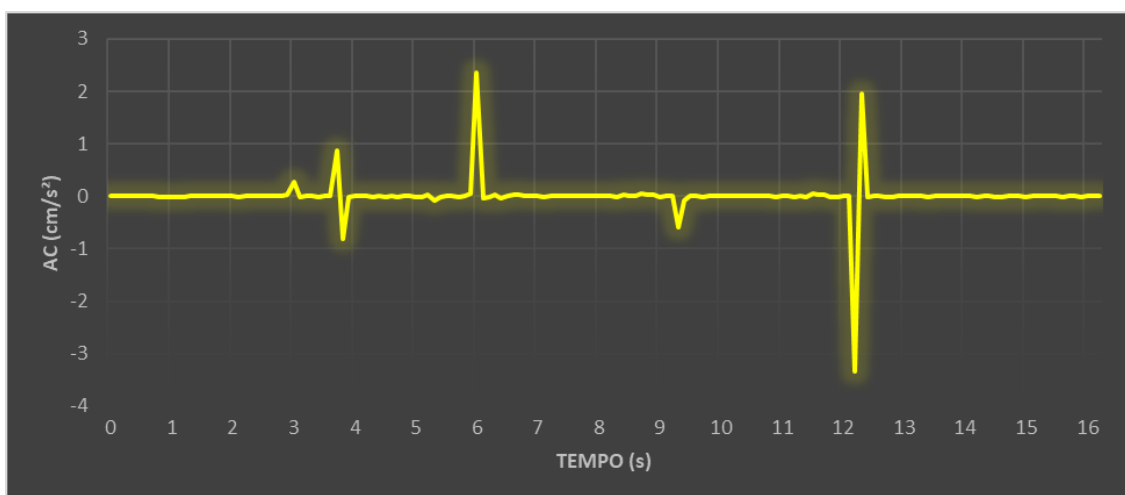
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados encontrados em laboratório.

Para iniciar o experimento, foram executados dois impactos controlados, um nas proximidades das extremidades apoiadas e o outro precisamente no centro da peça em questão.

Na Figura 6, podemos observar claramente que, à medida que nos afastamos do ponto de apoio, a variação da vibração se torna significativamente maior. Este padrão de comportamento é evidente na análise dos resultados, indicando que a influência da distância em relação ao apoio é um fator determinante na variação da vibração.

Figura 6: Variação de teste controlado com monitoramento no centro da tábua.



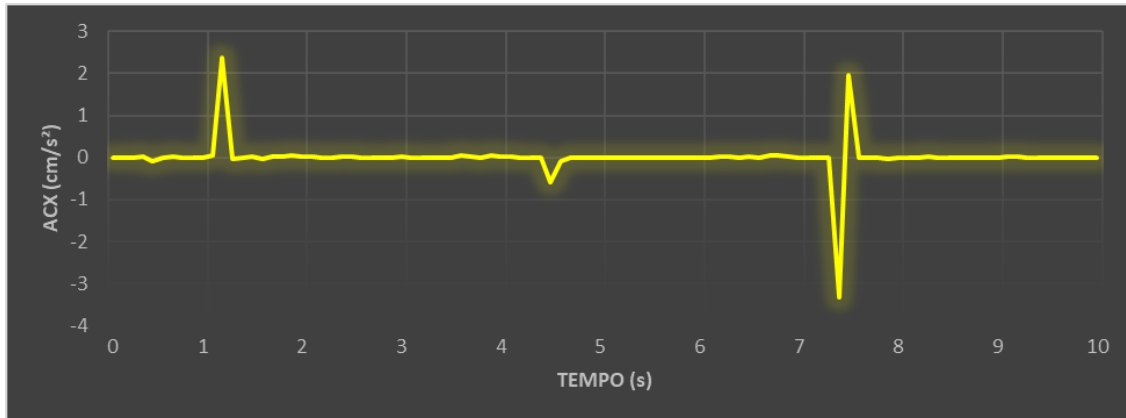
Fonte: Autoria Própria (2023).

Dado que nosso objeto de estudo está situado em um ambiente controlado, minimizando ao máximo a influência de vibrações externas, como vento ou tremores sísmicos causados por outros fatores, podemos observar que suas variações são mais notáveis apenas quando há contato com a tábua; em outros momentos, permanece praticamente inalterado, tendendo a permanecer próximo de zero.

Esse comportamento ocorre devido ao fato de a placa estar constantemente em repouso, e, portanto, só apresenta resposta significativa quando sujeita a uma ação externa. A Figura 7, que corresponde a um recorte do ponto 12 na Figura 6, ilustra com

mais clareza o momento em que ocorreu o contato com a placa e seu subsequente repouso.

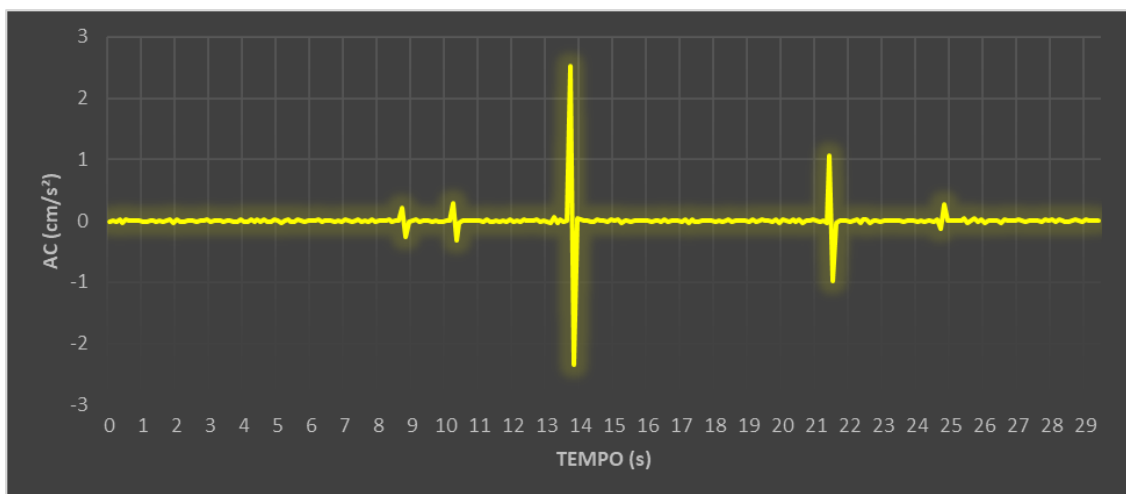
Figura 7: Variação no ponto 12.



Fonte: Autoria Própria (2023).

No segundo teste, realizamos a coleta de dados na extremidade da placa a fim de compreender o comportamento subsequente. A Figura 8 ilustra claramente um ponto de maior destaque, que ocorreu quando aplicamos a força no centro da tábua, e um ponto na posição 21, que representou uma resposta de força aplicada na posição oposta. Isso demonstra que o projeto apresentou resultados consistentes tanto na primeira medição quanto na segunda.

Figura 8: Variação na ponta da tábua.



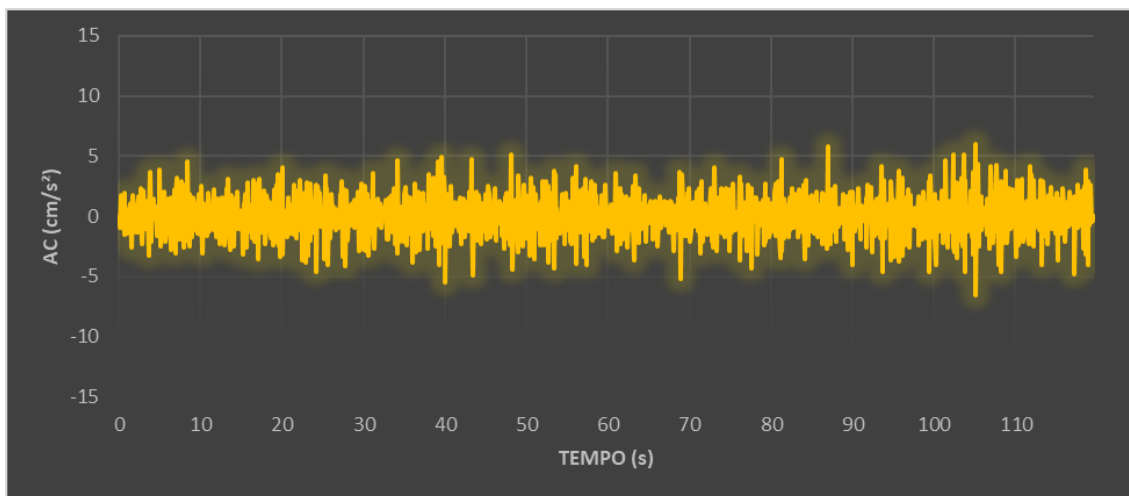
Fonte: Autoria Própria (2023).

4.2 Vibração natural da ponte sem trânsito (P1).

Inicialmente, foi realizada uma leitura das vibrações da ponte levando em consideração simplesmente com os esforços do vento e dos abalos sísmicos que acontecem constantemente e acabam atingindo a estrutura de estudo. Considerando que uma ponte nunca está 100% em repouso, por está sujeito a forças da natureza.

Na Figura 9 apresenta-se a resultante da aceleração pelo tempo, onde pode-se perceber que a ponte está em movimento mesmo sem a passagem de veículos. Destaca-se um pico de movimento no ponto 105 que marca um aumento relevante de 6 cm aproximadamente causado por uma mudança natural dos ventos.

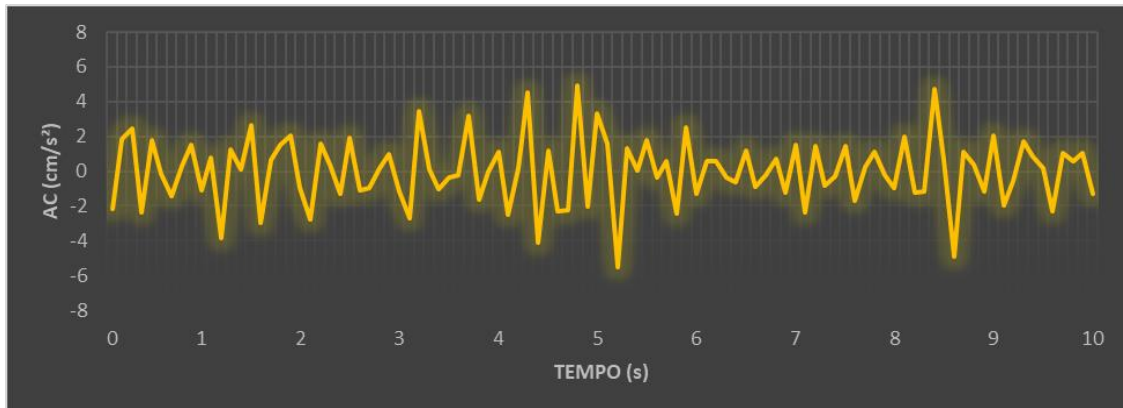
Figura 9: Variação da vibração sem trânsito.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Na Figura 10, é exibido um segmento específico que retrata o pico de movimentação registrado no ponto 105 da Figura 9. Nesse trecho, uma análise mais minuciosa e dinâmica permite compreender de maneira mais precisa como as deformações ocorrem devido à rajadas de ventos sobre a ponte. Torna-se evidente que durante o dia, há um aumento nas frequências das oscilações registradas. Além disso, após atingir o ponto máximo, os dados subsequentes revelam uma redução gradual na amplitude dos deslocamentos causados pelo tráfego, um padrão que se repete em situações posteriores.

Figura 10: Variação de vibração sem tráfego usando o ponto 105 da Figura 6 como referência.

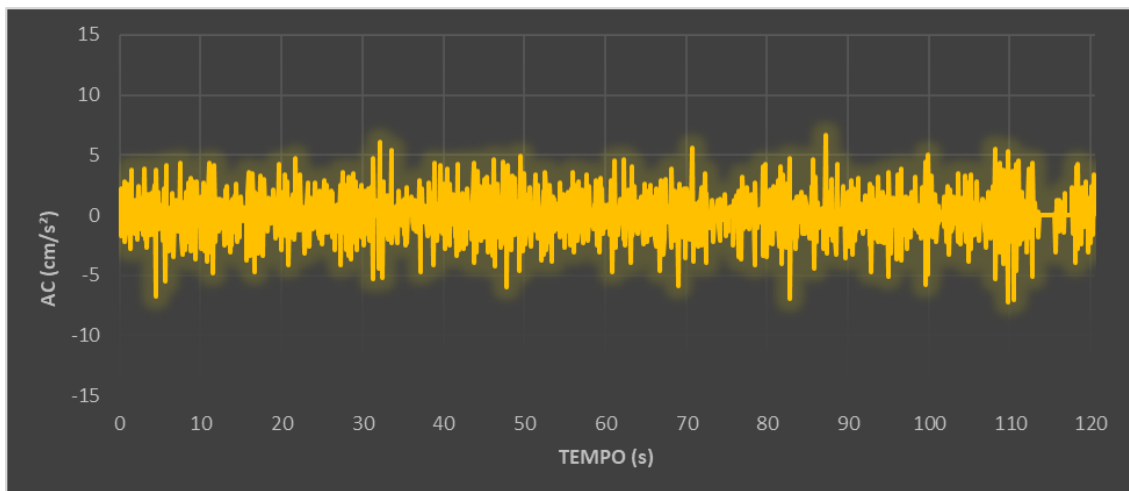


Fonte: Autoria Própria (2023).

4.3 Vibração na entrada da ponte (P2).

Com a coleta de dados feita no começo da ponte foi possível localizar alguns picos de movimentações e as vibrações subsequentes que o tráfego causa em uma estrutura. Percebe-se na Figura 11 que a estrutura permanece vibrando mesmo após a passagem dos veículos, mas as mudanças não são tão significativas quando se tem apenas um carro de passeio fazendo esforço em meio à ponte.

Figura 11: Variação no P2.

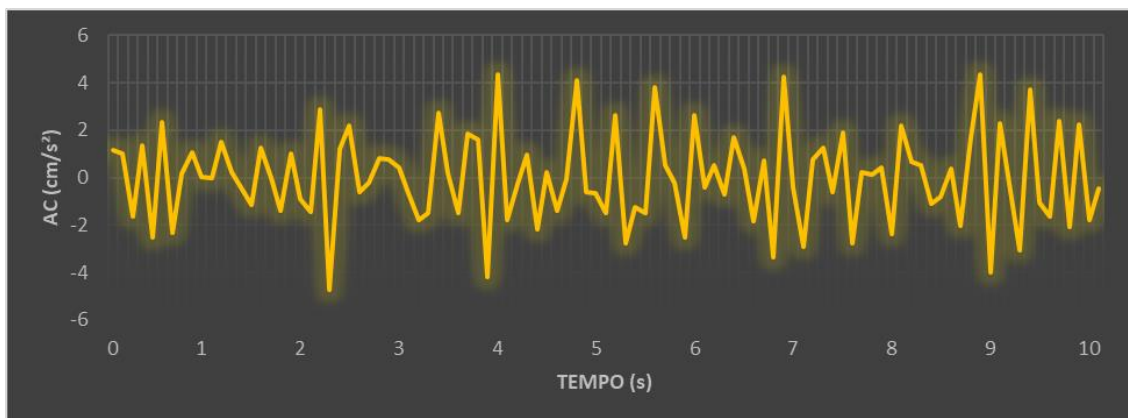


Fonte: Autoria Própria (2023).

No Figura 11 anteriormente foi obtido 4 momentos em que se teve movimentação do tráfego, em todos eles o acelerômetro captou uma variação de 5 a 6 cm, aproximadamente, tornando um padrão entre os movimentos. Este mesmo padrão é bem nítido no final da captura quando passam dois carros de passeio onde a leitura dos dois são bem semelhantes.

Essa variação é representada no Figura 12, que retrata a diferença de menos de 1 cm do instante da passagem de um veículo para o outro, e mostra como as vibrações se comportam no intervalo de 30 a 40 segundos, que agora pode ser percebido no ponto 40 e 91.

Figura 12: Variação da vibração entre dois carros no P2.

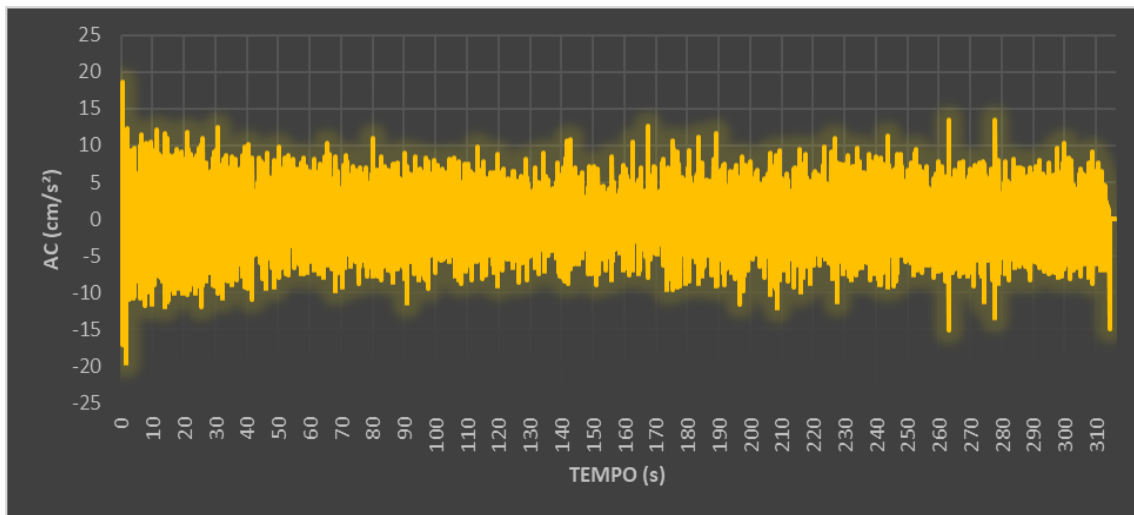


Fonte: Autoria Própria (2023).

4.4 Variação a um terço da ponte (P3).

No ponto P3, podemos examinar como as vibrações se manifestam sob cargas substanciais. O teste ilustrado na Figura 13 mostra a vibração resultante da passagem de um veículo de grande porte. É evidente que o deslocamento é notavelmente maior em comparação com os gráficos anteriores. Além disso, observa-se que a energia gerada não se dissipa significativamente, resultando em uma contínua vibração da ponte mesmo após o veículo ter passado. Isso implica que a estrutura lida de maneira eficaz com impactos graduais.

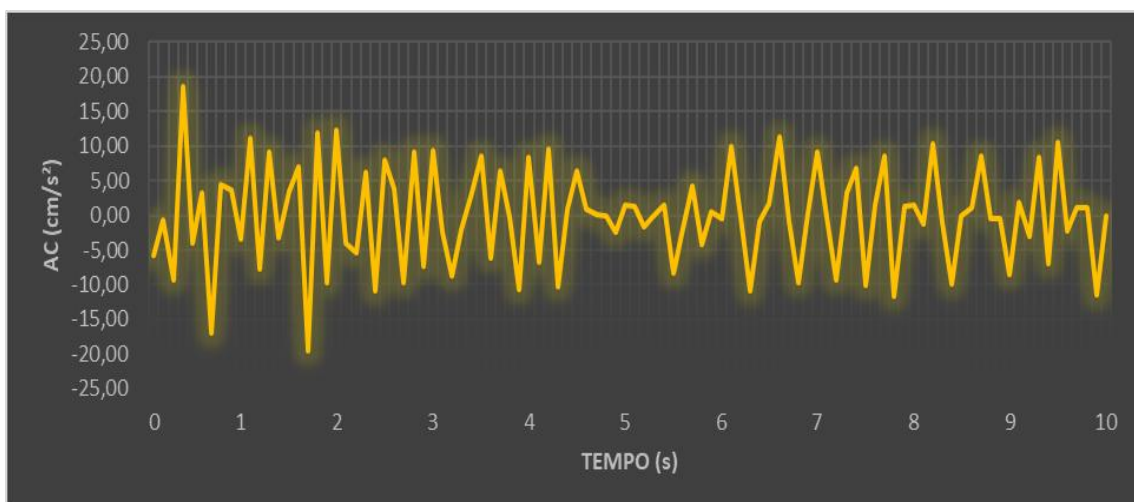
Figura 13: Variação da vibração no P3.



Fonte: Autoria Própria (2023).

Na Figura 14, é evidente como a frequência mantém uma variação reduzida devido a um movimento intenso gerado por um veículo pesado. Observa-se que ao longo da coleta de dados, a estrutura permaneceu submetida a uma movimentação intensa devido ao peso considerável do veículo. Mesmo estando localizado entre os pilares de apoio das seções da ponte, o veículo provocou uma contínua oscilação da estrutura. Isso demonstra a capacidade da estrutura de atenuar e suavizar os esforços impostos, permitindo um movimento mais estável apesar da carga aplicada.

Figura 14: Padrão em vibrações em meio a coluna.



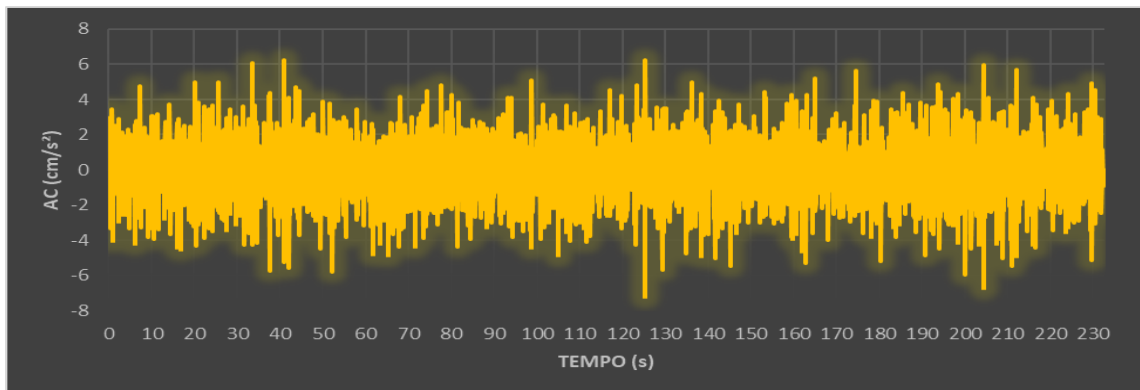
Fonte: Autoria Própria (2023).

4.5 Verificação no meio da ponte (P4).

Para conduzir a análise na região central da ponte, é crucial considerar que estamos focando no ponto mais suscetível às vibrações da estrutura. Isso ocorre devido à posição frequentemente em balanço desse ponto e à influência das vibrações que se propagam das extremidades.

Ao observarmos a Figura 15, é notório uma oscilação muito frequente, manifestando uma variação repetida de 5 cm em várias localizações ao longo da coleta de dados. Esses resultados estão em conformidade com as expectativas para o ponto de análise, reforçando a sensibilidade deste ponto às vibrações e validando a precisão.

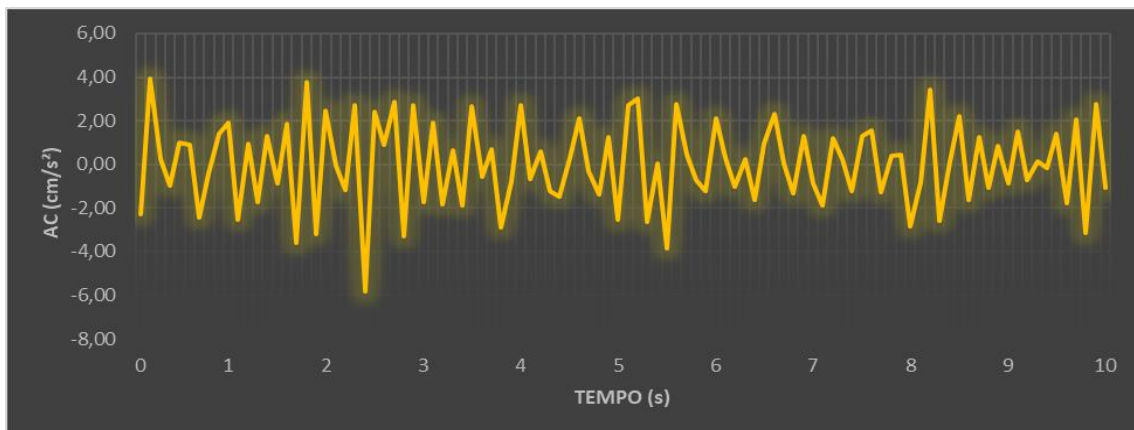
Figura 15: Variação da vibração no P4.



Fonte: Autoria Própria (2023).

A Figura 16 ilustra a visão de um ponto de análise cheio de altos e baixos, entregando mais variações de vibrações e maior instabilidade para a estrutura.

Figura 16: Variação em escala menos espaçada do tempo de 50s do P4.



Fonte: Autoria Própria (2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equipamento demonstrou desempenho conforme as expectativas, ao medir com precisão as vibrações necessárias em cada ponto de análise escolhido. As tendências previstas e as oscilações esperadas foram claramente refletidas nos resultados coletados.

Os impactos significativos, antecipados para o ponto inicial (P2), confirmaram a eficácia do equipamento. No ponto intermediário (P3), localizado em um pilar de apoio, foi observado um valor estável e substancial, coerente com sua função de distribuir os esforços. O último ponto (P4), localizado no centro da ponte e sujeito a balanços, exibiu a esperada instabilidade, como já observado anteriormente.

Em resumo, a coleta de dados pelo equipamento foi satisfatória, atendendo todos os objetivos desejados, tanto sua capacidade de armazenamento quanto a sua eficiência de verificação um bom desempenho. O equipamento conseguiu atender todos os requisitos desejados.

No entanto, é necessário aprimorar o armazenamento dos dados. Ademais, vale ressaltar que, em uma escala ampliada, seria recomendável a implantação de uma rede desses dispositivos, permitindo uma análise abrangente da ponte, sem a necessidade de abordá-la em etapas separadas.

REFERÊNCIAS

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.

SILVA, R. S. Y. R. C., “Monitoramento e Identificação Numérico e Experimental de Danos em Vigas e Pontes de Aço e Concreto Utilizando Transformadas de Wavelet”, Tese de D.Sc., UNB, Brasília, DF, 2015.

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

CHANDRASEKARAN, S., CHITHAMBARAM, T., KHADER, S. A., “Structural Health Monitoring of Offshore Structures Using Wireless Sensor Networking under Operational and Environmental Variability”, *International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, v. 10, n. 1, p. 33-39, 2016.

PINTO, C. S., DEGASPERI, F. T., “Desenvolvimento de uma interface para aquisição de dados experimentais utilizando o microcontrolador Arduino UNO”, In: X Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza. pag 313-322, São Paulo, Out. 2015.

ARDUINO, WHAT IS ARDUINO? <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>. Acessado em junho de 2023.

Silva, J. A., Barbosa, J. C. Oliveira, J. R. M. “Análise de vibrações em pontes: revisão de literatura.” *Revista de Engenharia Civil*, v. 15, n. 3, p. 115-127. (2019).

Costa, M. A. Silva, J. A., & Barbosa, J. C. “Análise de fadiga em estruturas de pontes: revisão de literatura.” *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 14, n. 5, p. 951-963. (2020).

Mendes, C. L. G. Ferreira, F. M., & Reis, L. G. “Análise de patologias em pontes de concreto armado em trechos urbanos.” *Revista Brasileira de Engenharia de Estruturas e Materiais*, v. 12, n. 3, p. 581-592. (2019).

Barbosa, J. C. Silva, J. A., & Oliveira, J. R. M. “Avaliação de técnicas de mitigação de vibrações em pontes: revisão de literatura.” *Revista Brasileira de Engenharia de Estruturas e Materiais*, v. 14, n. 5, p. 1073-1085. (2021).

Souza, R. S. Oliveira, D. V. Pereira, E. T. Santos, E. B. “Monitoramento de pontes e viadutos utilizando técnicas de aquisição e análise de sinais vibratórios.” *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 12, n. 1, p. 1-13. (2020).

Martins, R. A. Silva, P. B., & Sousa, M. A. “Monitoramento de estruturas com Arduino e sensores para verificação da integridade estrutural: estudo de caso de uma ponte de concreto armado.” *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 10(1), 64-72. (2018).

Souza, V. F., Costa, L. G. S., & Silva, M. D. “Monitoramento de estruturas utilizando Arduino e rede de sensores sem fio: estudo de caso de uma ponte em concreto armado.” *Revista Engenharia*, v. 32, n. 1, p. 32-38. (2017).

Nery, L. A. P., Araújo, G. R., & Tommaselli, A. M. G. “Desenvolvimento de um sistema de monitoramento de vibrações utilizando a plataforma Arduino.” *Revista Engenharia*, v. 34, n. 2, p. 1-9. (2019).

Ribeiro, F. G., Bezerra, A. S., & Medeiros, R. A. “Análise do comportamento elástico de pontes utilizando a Lei de Hooke.” *Revista Brasileira de Engenharia Civil*, v. 14, n. 2, p. 241-249. (2018).

ABNT NBR 7188:2013 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios - Procedimento.

DNIT-ME 034/2011 - Projeto de pontes rodoviárias.

DNIT-ME 087/2017 - Manual de inspeção de pontes.

DNIT-ME 022/2007 - Manual de manutenção de pontes.

APÊNDICES

APÊNDICE A – PLANILHA DE MONITORAMENTO DE PONTE

