

Aplicação de microcontroladores de baixo custo para o desenvolvimento de um analisador modular – módulo de análise de vibrações

Sávio M. F. Pessoa¹, Richard Senko²

¹*Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande UFCG
R. Aprígio Veloso, 58428-830, Universitário, Campina Grande PB, Brasil
Savio.pessoa@ee.ufcg.edu.br*

²*Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Campina Grande UFCG
R. Aprígio Veloso, 58428-830, Universitário, Campina Grande PB, Brasil
Richard.senko@ufcg.edu.br*

Resumo. Para as indústrias se manterem competitivas atualmente, é necessário que seus equipamentos estejam em pleno funcionamento, logo, setores de manutenção industrial precisam ter acompanhamento diário sobre a situação do maquinário. Porém, o alto custo de equipamentos para auxiliar estes setores na aplicação da manutenção preditiva, faz com que pequenas e médias indústrias tenham dificuldades para elevar o padrão de conservação e produção. Assim, apresentam-se como opções os microcontroladores de código aberto. Os objetivos deste artigo são avaliar e definir a melhor plataforma de prototipagem para construção de um analisador modular de baixo custo, iniciando pelo módulo de análise de vibrações, para aplicação na manutenção preditiva. Para avaliar a viabilidade das plataformas, considerou-se aspectos como: processamento, memória, interface, modularidade e preço. Primeiramente, realizou-se teste de amostragem e ruído em um sistema vibratório utilizando um acelerômetro, para seleção da plataforma ideal. Posteriormente, utilizou-se o microcontrolador selecionado, implementando o módulo de análise de vibrações testando-o num sistema rotativo. Neste trabalho, possibilitou-se definir que o microcontrolador Raspberry Pi 3 B+ seria a mais indicada, pois apresentou; maior taxa de amostragem, possibilitando detecção de sinais de maior frequência; maior relação sinal ruído e alto poder de processamento; características ideais para uma aplicação modular.

Palavras-chave: Modularidade, Microcontroladores, Manutenção Preditiva, Vibrações Mecânicas

1 Introdução

Um dos principais problemas para as indústrias se manterem competitivas são os custos associados a inclusão de novas tecnologias, sendo os setores de manutenção os que mais sofrem em relação a falta destes investimentos. Isso ocorre devido aos recursos limitados das fábricas de pequeno ou médio porte, restringindo estes departamentos a gerenciamentos mais simples (manutenção corretiva), e muitas vezes sem perspectiva de melhorias. Percebendo a dificuldade das aplicações de novas tecnologias que auxiliariam estes setores de manutenção para atingir melhores práticas (manutenção preditiva), apresentam-se como opções de baixo custo, os microcontroladores de código aberto.

Como os microcontroladores atuais possuem alta capacidade de processamento, são capazes de realizar várias tarefas simultâneas, permitindo analisar e processar diversos tipos de dados, habilitando-os para o desenvolvimento de vários tipos de tecnologias para auxiliar nas áreas de manutenção e manufatura. Como pode ser visto no trabalho de González [1], que desenvolveu um protótipo para análise de vibrações utilizando o microcontrolador Arduino Due. O autor iniciou os primeiros testes da tecnologia MEMS (Sistemas micro eletromecânicos) em microcontroladores e encontrou diferenças significativas nas leituras devido à instabilidade nas medições e comportamento não linear. No trabalho de Vieira [2], utilizou-se um NodeMCU modelo ESP8266

em conjunto com um acelerômetro do tipo MEMS no desenvolvimento de um protótipo de análise de vibrações capaz de monitorar continuamente máquinas e enviar os dados e alertas de níveis de vibração remotamente utilizando os conceitos de IoT (Internet das coisas) com baixo custo. Apesar do protótipo ter a capacidade de identificação das instabilidades nos sistemas e do envio de advertências de modo eficiente, devido à baixa frequência de amostragem o módulo não captava sinais acima de 120 Hz além de apresentar ruído elevado.

No artigo desenvolvido por Iwaniec [3], utilizou-se um Raspberry Pi Model 3 com um acelerômetro ADXL345 para construção de um analisador de espectro de vibrações tri axial capaz de realizar o cálculo da Transformada Discreta de Fourier (TDF) e plot dos gráficos dos sinais no domínio do tempo e frequência no próprio microcontrolador com baixo nível de ruído. Embora este protótipo tenha apresentado ótima capacidade de frequência de amostragem e no tratamento dos dados, este analisador não foi comparado aos analisadores de mercado e também não foi utilizado em sistemas rotativos.

Tendo em vistas as aplicações destes microcontroladores, observa-se a necessidade de aprimoramento dos analisadores de baixo custo com módulos que utilizem a tecnologia MEMS com baixo nível de ruído, alta taxa de amostragem e capazes de analisar e processar vários tipos de dados. Isto deve ser obtido sem a necessidade de outros dispositivos e com capacidade de desempenho próximo aos analisadores de mercado.

Sendo assim, neste trabalho foi aplicado microcontroladores de baixo custo para o desenvolvimento de um analisador modular universal. O presente protótipo foi desenvolvido para analisar inicialmente vibrações utilizando sistemas rotativos como objeto de estudo, mas com a possibilidade de expansão para análise e processamento de outros tipos de dados; como temperatura, descontinuidades em materiais, entre outros. Com os testes realizados, pode-se perceber a importância deste protótipo para auxiliar as indústrias na aplicação de melhores práticas de manutenção e sem a necessidade de outros dispositivos para realização da avaliação dos equipamentos.

2 Materiais e métodos/Metodologia

2.1 Microcontroladores

Inicialmente, foram avaliadas as principais plataformas de prototipagem para o desenvolvimento do protótipo de um analisador modular universal. Os microcontroladores selecionados para os experimentos foram o Arduino Mega 2560, NodeMCU ESP8266 e o Raspberry Pi 3 B+.

Tabela 1. Comparativo dos principais microcontroladores

	Arduino Mega 2560	Raspberry Pi 3 B+	NodeMCU ESP8266
Velocidade de Clock	16 MHz	1.4 GHz	52 MHz
Memória RAM	256 KB	1 GB	50 KB
Programação	C++	Python	C++
Preço Médio (US\$)	8	40	7

Para os experimentos, foi considerado a literatura existente e testes de amostragem com o módulo de vibrações utilizando um acelerômetro MPU 6050. Utilizou-se este sensor por possui uma alta sensibilidade (0.061 mg/LSB), custo baixo e nível de ruído na ordem de micro g (μg).

O desenvolvimento dos códigos para cada microcontrolador consistiram nos seguintes fluxos:

- Arduino e NodeMCU – O código desenvolvido na Integrated Development Environment (IDE) destes microcontroladores para o experimento, consistia em ativar a comunicação I2C com o acelerômetro, logo após realizar uma média dos valores lidos nos três eixos do acelerômetro com o objetivo de eliminar o efeito da gravidade. Posteriormente os dados são coletados e gravados em cartão de memória simultaneamente, por fim é feito o cálculo do tempo necessário para coleta das amostras e então calculado a taxa de amostragem do teste.
- Raspberry – Utilizou-se a IDE Thonny em linguagem Python disponível na própria interface gráfica do dispositivo para desenvolver um código similar ao utilizado no Arduino e NodeMCU.

2.2 Teste de Amostragem e Ruído

O teste tem por finalidade observar a máxima taxa de amostragem, a influência da amostragem em paralelo com a gravação dos dados em arquivo, e verificar qual possui menor ruído. Os dados coletados em cada microcontrolador foram processados através da TDF disponível no software MATLAB.

Para isto, utilizou-se a bancada de testes disponível no Laboratório de Vibrações e Instrumentação - UFCG (LVI), Fig. 1, que consiste em:

1. Gerador de sinais (Agilent 33220A);
2. Módulo amplificador (Smart Amp 2100E21-400);
3. Shaker (Modal Exciter 2025E);
4. Computador.

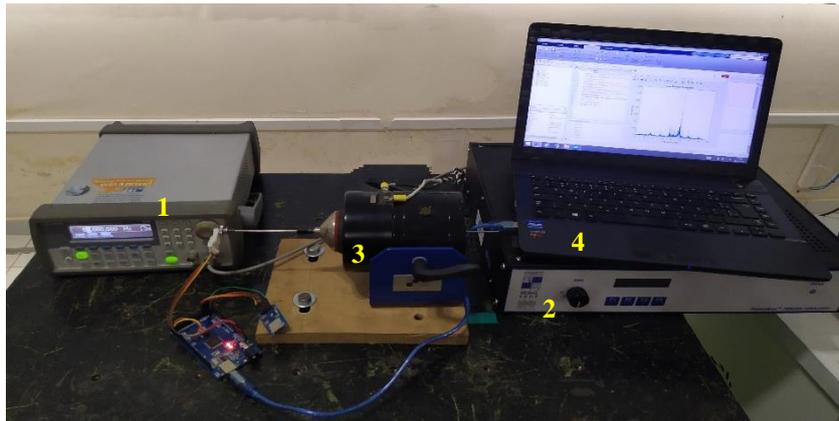


Figura 1. Bancada de testes dos microcontroladores

No experimento, fixou-se o acelerômetro ao shaker cujo foi aplicado sinal senoidal de frequência 35 Hz e coletado os dados. Para quantificar o nível de ruído foi utilizado a relação sinal-ruído (SNR) que é definido como a razão da potência do sinal e a potência do ruído, Lathi [4], quanto maior esta relação, melhor será o resultado do módulo.

2.3 Implementação do Módulo de Vibração e Teste em um Sistema Rotativo

Após análise do microcontrolador, implementou-se o módulo de vibração em um sistema rotativo com o objetivo de avaliar seu desempenho em um sistema balanceado e desbalanceado.

Na bancada experimental, a qual foi utilizada por Vieira [2], é possível a indução de defeitos no sistema como desbalanceamento e desalinhamento do rotor. A bancada de testes e seus componentes estão na Fig. 2.

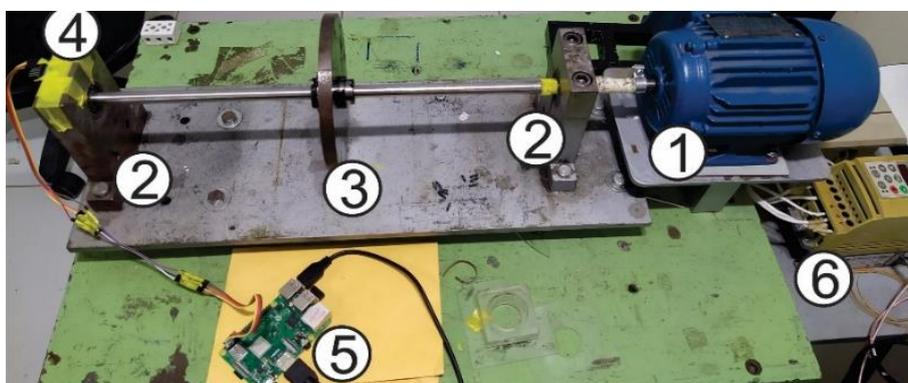


Figura 2. Bancada de testes do analisador de vibrações

Os dispositivos utilizados estão listados abaixo:

1. Máquina elétrica WEG W22 Plus de 0,5 CV - 220/380V, 3330 RPM em 60Hz;
2. Mancais bipartidos rígidos com rolamentos montados no eixo;
3. Disco;
4. Sensor MPU 6050;
5. Raspberry Pi 3 B+ coletando os dados transmitidos pelo MPU 6050;
6. Inversor de frequência uline da WEG.

Primeiramente coletou-se os dados da aceleração aplicada ao acelerômetro com o eixo balanceado. Posteriormente aplicou-se dois casos de desbalanceamentos, Fig. 3, com massas de 9 e 17 gramas no disco, coletando-se os dados em cada uma das respectivas situações.



Figura 3. Massas desbalanceadas inseridas no disco. (A) 9 gramas e (B) 17 gramas

Espera-se obter um gráfico com alguns picos em frequências específicas decorrentes da ressonância da bancada, da rede elétrica e aterramento do laboratório, folgas e desalinhamentos da montagem e ruídos presentes no processo. Com a inserção das massas desbalanceadoras ao sistema, espera-se que picos na frequência de rotação do sistema sejam elevados.

2.4 Implementação do Cálculo da TDF e Interface Gráfica ao Módulo

Após testes iniciais com o analisador de vibrações, procurou-se tornar o analisador independente de outro computador para cálculo da TDF e possibilitar uma melhor Interface Homem Máquina (IHM). Espera-se que os resultados produzidos pelo analisador sejam similares aos produzidos com o software MATLAB e que a interface gráfica do analisador seja de fácil utilização.

Assim desenvolveu-se um código na linguagem Python utilizando a IDE Thonny que, utilizando as bibliotecas smbus, time, gpio, matplotlib, pyplot, numpy e tkinter, seja capaz de coletar os dados da aceleração aplicada ao MPU 6050, calcular a TDF do sinal amostrado e plotar os gráficos dos 3 eixos do módulo da aceleração versus frequência.

3 Resultados e Discussões

3.1 Definição do microcontrolador para o analisador

Para definição da plataforma ideal para o analisador modular, primeiramente foi realizada uma análise de desempenho aplicando um sinal senoidal com frequência de 35 Hz nos microcontroladores com o mesmo sensor e protocolo de comunicação. Na Tab. 2 e Fig. 4 tem-se os resultados dos experimentos.

Tabela 2. Comparativo dos testes nos microcontroladores

	Arduino Mega 2560	Raspberry Pi 3 B+	NodeMCU ESP8266
Taxa de Amostragem	150 Hz	465 Hz	452 Hz
Relação sinal ruído (35 Hz)	1.25	7.55	1.27
Taxa de Amostragem sem gravar em arquivo	517 Hz	465 Hz	1024 Hz

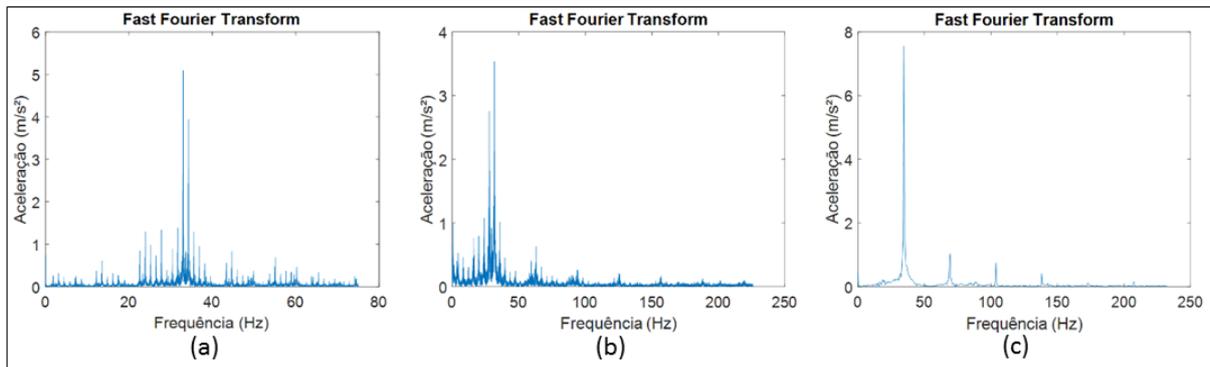


Figura 4. Sinal vibratório coletado por (a) Arduino Mega 2560, (b) ESP8266 e (c) Raspberry Pi 3 B+

Nesta comparação realizada, observou-se que a taxa de amostragem no Arduino Mega foi limitada pelo processador de 16 MHz, enquanto para a ESP8266 seu processador de 52 MHz foi capaz de alcançar uma taxa de amostragem três vezes maior. Já para a Raspberry Pi 3 B+, por possuir uma interface gráfica, a capacidade de processamento não é totalmente dedicada a coleta dos dados, e a taxa de amostragem é a mesma no modo com e sem gravação de dados, pois este processo é relativamente insignificante para o processador. Apesar destas limitações, o microcontrolador Raspberry Pi 3 B+ apresentou o melhor nível de sinal ruído, devido à alta capacidade de processamento, o que facilita a leitura dos dados obtidos e reduz erros de medição. Os pontos positivos demonstrados pelo Arduino e a ESP8266 foram em relação a taxa de amostragem sem a gravação e custo. Todavia, com a gravação dos sinais demonstraram redução na taxa de amostragem e baixos níveis de sinal ruído, aumentando a possibilidade de erros de medição. Desta forma, como é importante para o setor de manutenção manter um histórico e uma clareza dos sinais para futuras análises, a Raspberry Pi 3 B+ se mostrou como melhor opção para a aplicação em questão.

3.2 Análise de vibrações com Raspberry Pi 3 B+

Para verificar o módulo de vibração do analisador, foram obtidas as TDF de um sistema rotativo a 40 Hz nas condições: balanceado e desbalanceado (com 9 g e 17 g), Fig. 5.

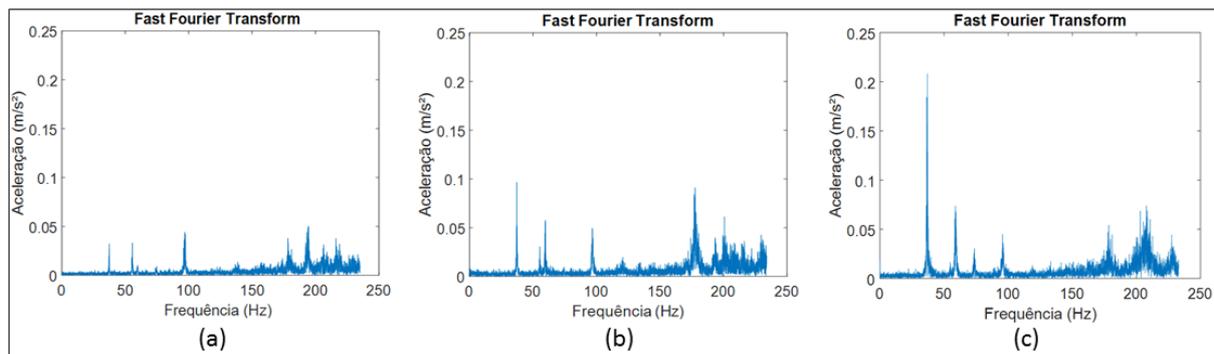


Figura 5. DFT do analisador (a) balanceado, (b) desbalanceado 9 gramas, (c) desbalanceado 17 gramas

Tabela 3. Módulo da aceleração em 40 Hz do sistema

	Balanceado	Desbalanceado 9 gramas	Desbalanceado 17 gramas
Aceleração (m/s ²)	0.0322	0.0965	0.2082

Neste teste observou-se que o módulo de vibrações aplicado identificou o aumento de vibração decorrentes ao desbalanceamento do sistema sem prejudicar a leitura do sinal. O analisador também foi capaz de demonstrar que com o acréscimo das massas desbalanceadoras, 9 g para 17 g, os picos obtidos aproximadamente dobraram, conforme Tab. 3, corroborando com a literatura, que diz que a amplitude é proporcional a força de desbalanceamento, Lamim, Pederiva e Brito [5] e Senko [6].

Para melhor análise dos dados, implementou-se uma interface gráfica e o cálculo da TDF diretamente no analisador, Fig. 6.

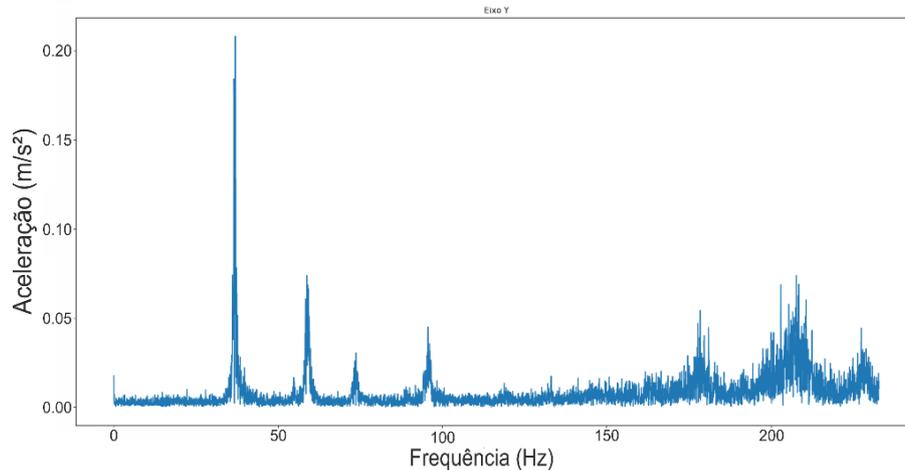


Figura 6. Tela de análise dos dados de vibração

Com o desenvolvimento na linguagem Python, a Raspberry apresentou uma interface amigável e de fácil iteração com o cálculo da TDF e plot dos dados coletados. Como observado na Fig. 6, não houveram alterações nas medições realizadas no eixo Y no sistema rotativo nas mesmas condições apresentadas anteriormente na Fig. 5 (c) cujo cálculo e plot dos dados foi realizado utilizando o software MATLAB.

No trabalho de Vieira [2], um ESP8266 em conjunto com o MPU 6050 foi utilizado na mesma bancada de testes para sistema desbalanceado. Sendo assim, realizou-se um comparativo, Fig. 7, entre o protótipo desenvolvido por Vieira [2] com o deste trabalho nas seguintes condições: sistema com desbalanceamento de 14 gramas e rotação próxima a 25 Hz.

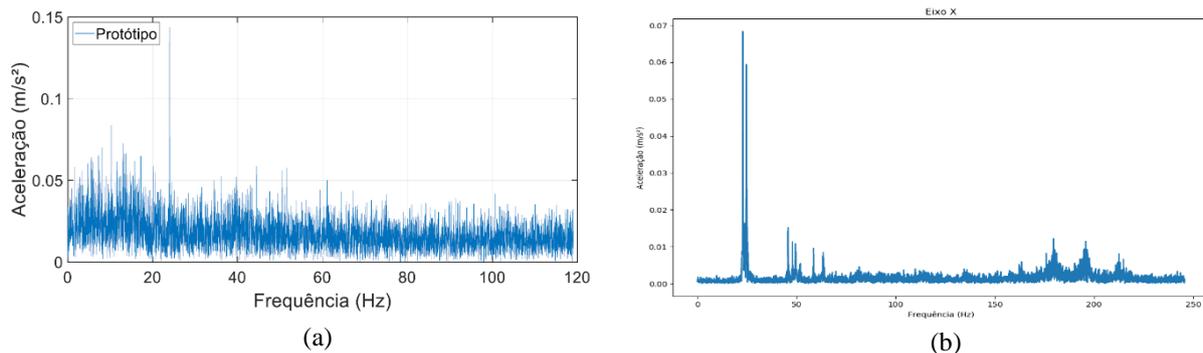


Figura 7. Comparativo sinal de sistema desbalanceado (a) ESP8266, Vieira [2] e (b) Raspberry Pi 3 B+.

Analisando os resultados obtidos, observa-se que a relação sinal ruído presente no protótipo utilizando a ESP8266 foi próximo a 3.0, enquanto na Raspberry foi aproximadamente 4.6, indicando melhores resultados com o analisador proposto. Isto ocorre devido a capacidade de processamento 26 vezes maior deste microcontrolador, elevando assim a taxa de amostragem e reduzindo erros de medição que implicam em ruídos no resultado. Portanto baixos níveis de vibrações podem ser detectados pelo analisador proposto neste trabalho, facilitando a detecção de falhas futuras com antecedência. Outros picos presentes no sinal são devidos a aterramento do sistema e a energia elétrica do laboratório, os quais não houveram alterações com a aplicação da massa desbalanceada.

4 Conclusões

Foi possível após implementação do módulo analisador de vibrações obter resultados satisfatórios na bancada de testes utilizando a placa microcontrolador Raspberry Pi 3 B+ em conjunto com o acelerômetro MPU 6050. A faixa de frequências detectáveis pelo módulo é de 232 Hz que é suficiente para detectar falhas de desbalanceamento e desalinhamento em sistemas rotativos. O módulo apresentou alta relação sinal ruído em comparação com demais microcontroladores testados, permitindo um menor efeito do ruído de fundo sobre as medições dos sinais. Os resultados da análise são os gráficos do módulo da aceleração em função da frequência de vibração e são exibidos em tempo real através de uma interface gráfica disponível, facilitando a utilização do analisador e possibilitando guardar os resultados para consulta posterior.

Como a Raspberry Pi 3 B+ suporta diversos modelos de sensores, pode-se incrementar posteriormente outros tipos de análises para manutenção preditiva, dando margem para novas pesquisas nesta área. Como este também possui um custo final a cerca de 76% menor em relação aos demais analisadores do mercado, facilitando que pequenas e médias indústrias modernizem os setores de manutenção, esta aplicação se mostra significativa.

Agradecimentos. Ao CNPq através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC. A UFCG – Universidade Federal de Campina Grande. Ao LVI pelo suporte a esta pesquisa.

Declaração de autoria. Os autores confirmam que eles são os únicos responsáveis pela autoria deste trabalho e que todo o material que foi incluído aqui como parte deste artigo é de propriedade (e autoria) dos autores ou tem a permissão dos proprietários para serem incluídos aqui.

Referências

- [1] R. C. D. González. “Desenvolvimento de um protótipo analisador de vibração de baixo custo para uso em manutenção preditiva”. 2014. 106 p. Dissertação (mestrado em engenharia mecânica) – departamento de engenharia mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- [2] G. S. Vieira. “Desenvolvimento de um protótipo de baixo custo para aplicações em manutenção preditiva por análise de vibração”. 2019. 82 p. TCC (graduação em engenharia mecânica) – departamento de engenharia mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.
- [3] M. Iwaniec, et al. Development of vibration spectrum analyzer using the Raspberry Pi microcomputer and 3-axis digital MEMS accelerometer ADXL345. 2017 13th International Conference Perspective Technologies and Methods in MEMS Design, MEMSTECH 2017 - Proceedings, n. April, p. 25–29, 2017.
- [4] B. P. Lathi. “Modern Digital and Analog Communication Systems”. 3º ed. New York: Oxford University Press, 1998.
- [5] P. C. M. Lamim Filho; R. Pederiva; J. N. Brito. "Detecção de desbalanceamento em máquinas rotativas através da lógica fuzzy". Conem 2006, Recife-PE. IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica.
- [6] R. Senko. “Implementação de sistema especialista para o monitoramento e diagnóstico de desbalanceamento em sistema mecânico rotativo por análise de vibrações”. 2013. 94 (Dissertação de Mestrado). Centro de Ciências e Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande