



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E EXTENSÃO
COORDENAÇÃO DE PESQUISA**

RELATÓRIO DE ATIVIDADES DO ALUNO

Programa:

Título do Projeto: Aplicação de microcontroladores de baixo custo no desenvolvimento de um analisador modular - Módulo de medição de rotações e balanceamento

Aluno: José Sávyo Soares Lira

Orientador: Prof. Dr. Richard Senko

Assinatura do(a) aluno(a):

Assinatura do(a) orientador(a):

Local e Data

1. Introdução

O monitoramento e avaliação de equipamentos em operação contínua é de suma importância no setor industrial, o qual tem como redução de custos como um dos seus principais pilares para o desenvolvimento. Para indústrias de grande porte ou bem estabelecidas financeiramente, investimentos nos setores de manutenção ou para compra de equipamentos adequados para tais monitoramentos são bastante comuns. Todavia, pequenas e médias indústrias veem esta necessidade de investimentos como um risco, devido ao alto custo destas novas tecnologias. Com a expansão e diversas aplicações em setores residenciais, industriais, automotivos e telecomunicações (Denardin, 2008, p.1), os microcontroladores de código aberto são tidos como uma opção de baixo custo.

Em paralelo, os sensores de baixo custo compatíveis com estas placas de prototipagem rápida também estão sendo desenvolvidos e aplicados em diversas áreas para medições de vibrações, temperaturas, rotações entre outras.

Um exemplo pode ser visto em Pacheco, Roquitski e Frankiv (2013), que aplicaram um microcontrolador PIC-16F877A, para a implementação de um sistema de aquisição de dados de velocidade e temperatura para a análise de moto-ventiladores de refrigeradores. Numa faixa de operação de 1800-3100 RPM (Revoluções por minuto), o sistema apresentou um desvio percentual abaixo de 1%.

Silva, Lima e Salazar (2017), aplicaram junto de um sensor de efeito Hall um Arduino para o desenvolvimento de um tacômetro magnético para medição de velocidade em PIG's instrumentados. Registrando leituras com um tacômetro analógico usado para comparação chegaram à erros percentuais de 0,16%. Uma aplicação similar foi feita por Lima et al. (2021), aplicando um tacômetro magnético com Arduino para o monitoramento de sistemas rotativos, na comparação com um tacômetro ótico, obtiveram erro de 0,61%, nas leituras.

No trabalho de Pooja, D et al (2018), foi aplicado o sensor IR LM-393 junto com um Arduino para o desenvolvimento de um tacômetro de baixo custo. Segundo o autor o sistema apresentou uma resposta rápida, dinâmica e de alta precisão, além de trabalhar numa ampla faixa de velocidade, com erros de 0,46% quando registradas as leituras em comparação à um tacômetro analógico.

Mesmo com diversas aplicações de microcontroladores e sensores de baixo custo sendo feitas a cada dia e sabendo que o projeto destes seguem princípios da modularidade, ainda não são encontrados sistemas robustos e que seguem tais princípios. Tendo normalmente aplicações focadas numa aplicação específica.

Através da modularidade pode-se aplicar o paralelismo no desenvolvimento dos projetos permitindo que o tempo de alteração do módulo não afete significativamente no tempo de desenvolvimento do produto. Outro aspecto da modularidade é a possibilidade de redução no custo do ciclo de vida através da redução de processos. (VIERO E NUNES, 2016, P.7)

Em projetos anteriores, seguindo os princípios da modularidade, foram desenvolvidos módulos de análise de vibrações, temperatura, trinca e descontinuidades em materiais aplicando microcontroladores e sensores de baixo custo com o intuito de facilitar operações de manutenção. Este trabalho tem como propósito continuar o desenvolvimento deste analisador modular com a aplicação de um sistema medidor de velocidade (tacômetro); que tem o objetivo informar a velocidade do equipamento e obter diagnósticos de defeitos (Reaudin, 2012; Pooja et al 2018; Cheng, 2020), e balanceamento; que buscam reduzir a perturbação gerada na movimentação de rotores pela não coincidência do eixo principal de inércia com o eixo de rotação de um rotor (Hillman, 2013; Magalhães, 2013, Campos, 2017), de sistemas rotativos.

2. Objetivos

2.1 Objetivos gerais

Dar continuidade ao desenvolvimento de um analisador modular, utilizando o microcontrolador do tipo Raspberry Pie 3 B+ (RPI3B+) com a aplicação dos módulos de análise de medições das rotações e balanceamento de um sistema rotativo.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar os tipos de sensores (tacômetros) aplicáveis a plataforma de prototipagem utilizada, baseado em critérios como custo, disponibilidade no mercado, facilidade na montagem e qualidade na obtenção dos sinais para análises;
- Analisar a eficiência e eficácia do sistema com a aplicação do módulo de medições de rotação/tacômetro;
- Avaliar os métodos de balanceamento ideais para a aplicação no microcontrolador;
- Validar os módulos de medição de rotação e balanceamento comparando os resultados obtidos com analisadores de bancada e comerciais disponíveis em laboratório;

Revalidar a modularidade do analisador, aplicando todos os módulos.

3. Material e métodos/Metodologia

Nesta seção vamos apresentar os materiais utilizados para o desenvolvimento do analisador modular e do modulo que será aplicado, também será discutido os tipos de experimentos realizados.

3.1 Microprocessador – Raspberry Pi 3 B+

O raspberry pi já foi usado em diversas aplicações, tais como automação de ambientes em salas de aulas inteligentes (Silva, 2019), servidores web com baixo consumo de energia (Aroca et al., 2017), sistemas de Cloud domésticos para armazenamento em nuvem (Silva; Distadio, 2020), também num sistema de monitoramento residencial (Coutinho, 2016).

Como peça fundamental para a construção do analisador modular, escolheu-se o raspberry pi 3 B+ (RPi3B+), Figura 1, no desenvolvimento de um módulo de análise de vibrações e temperatura (Pessoa e Senko, 2021). A compatibilidade com sensores de baixo custo, uma plataforma de código aberto e amigável para gerar uma boa interação com o usuário do sistema esse microcontrolador se torna apto esta aplicação. Segundo Jucá e Pereira (2018), o RPi3B+ possui a capacidade de interagir com o mundo exterior através de sensores. Indo além, trabalhando em conjunto com microcontroladores, pode ser usado em uma ampla gama de projetos digitais.



Figura 1 – Raspberry pie 3B+.

Tabela 1 – Especificações da Raspberry pie 3 B+.

| | |
|--------------------|--|
| Processador | Broadcom BCM2837B0 Cortex-A53 64 bits Quad-core |
| Clock | 1.4 Ghz |

| | |
|------------------------------|--|
| Memória | 1 GB LPDDR2 |
| Portas USB 2.0 | 4 |
| Conectividade | Gigabit Ethernet over USB 2.0, Wifi dual band e Bluetooth 4.2/BLE |
| GPIO | 40 pinos |
| Slot Cartão | Micro USB |
| Quantidades de GPIO's | 25 |
| Alimentação | 5V via USB ou GPIO |

3.2 Touchscreen Display 7"

Para melhorar o IHM (interface homem máquina) do analisador modular, aplicou-se um display de 7" próprio para o RPi3B+, Figura 2, proporcionando maior versatilidade para o uso amigável do sistema.



Figura 2 - Tela Touchscreen 7" Raspberry Pi

3.3 Sensores

Fuentes (2015), descreve um sensor como um dispositivo que converte uma grandeza física em qualquer em outro sinal que possa ser transmitido para um elemento atuador. Os sensores podem ser interpretados por microprocessadores e ter seus sinais tratados e usados para definir ações para determinada aplicação. Para sua seleção é necessário conhecer bem o tipo de atividade a ser desempenhada e as condições do ambiente. Para esta pesquisa, os sensores deverão desempenhar a funcionalidade de tacômetros.

Segundo Mello e Silva (2010, p.18), os tacômetros são equipamentos de medição usado para captar valores relacionados a eventos de tempo, utilizados na medição de velocidade, vazão ou rotações em intervalos de tempo, na indústria estão presentes dois tipos de tacômetros mecânicos e digitais. Neste trabalho serão avaliados os infravermelhos (IR) e os de efeito Hall.

3.3.1 Sensores Infravermelhos (IR)

Os sensores infravermelhos (IR – Infra Red) foram selecionados devido a capacidade de detecção e comparação de movimento e obstáculos, disponibilidade e custo.

O princípio de trabalho é com o sinal do tipo NPN (negativo-positivo-negativo) o qual produz uma saída digital do tipo alta, ou igual a 1, quando detectam algo dentro da sua região de detecção que pode ser alterada manualmente por um dispositivo de resistência (potenciômetro) e fornecem dados sem contato.

3.3.1.1 E18-D80NK

O sensor IR E18-D80NK, Figura 3, como este já apresentou bons resultado em aplicações como em contagem de pessoas para registro de fluxo (Salgado, 2019), apresenta-se como uma boa alternativa para a aplicação em questão. Na Tabela 2 são apresentadas as suas principais características.

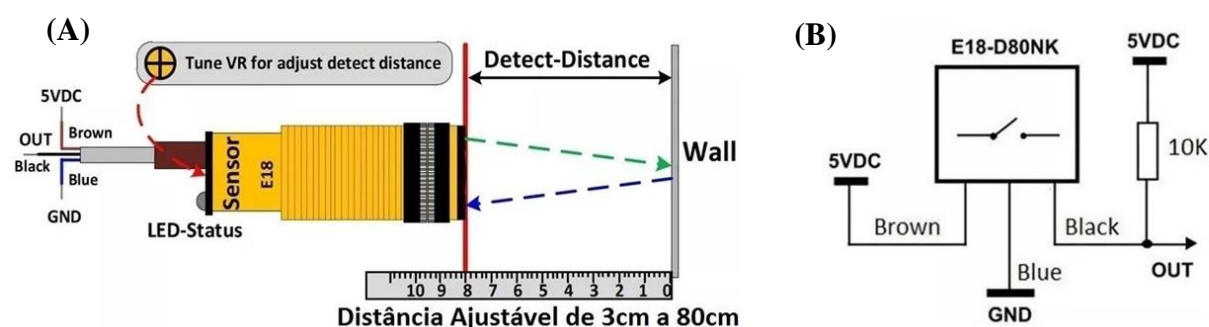


Figura 3 - Sensor infravermelho E18-D80NK, (A) Range de aplicação; (B) Esquema elétrico.

3.3.1.2 LM-393

O sensor LM-393, Figura 4, particularmente é bastante usado na construção de robôs seguidores de linha, voltados para a implementação com microcontroladores como o Arduino, (Pooja et al, 2018; MasterWalter, 2019). Na Tabela 2 são apresentadas as suas principais características.

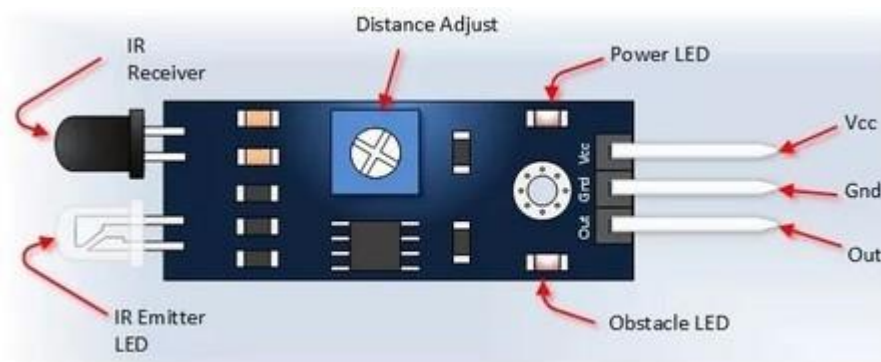


Figura 4 - Sensor infravermelho LM-393

3.4 Sensores magnéticos de efeito Hall

Esses tipos de sensores utilizam de um fenômeno físico chamado efeito Hall para gerar os pulsos de sinais digitais que pode ser recebido por qualquer microcontrolador.

Este efeito descreve o fenômeno físico pelo qual se gera uma tensão elétrica numa placa metálica percorrida por uma corrente, situada num campo magnético perpendicular a ela e que é perpendicular ao campo magnético e à direção da corrente. (Porto Editora – efeito de Hall na Infopédia [em linha]. Porto: Porto Editora. [consult. 2021-12-19 21:04:09]. Disponível em: [https://www.infopedia.pt/\\$efeito-de-hall](https://www.infopedia.pt/$efeito-de-hall)).

Os sensores que trabalham com o efeito Hall detectam e medem campos magnéticos ao seu redor, são usados na indústria e na eletrônica para monitorar equipamentos sem contato físico, tendo assim uma vida útil elevada. Uma das aplicações é como sensor de rotação, como apresentado por Silva, Lima e Salazar (2017), que desenvolveram um tacômetro em cima desse princípio, onde também adotaram o uso de ímãs de neodímio para que o forte campo magnético gerado por eles seja o suficiente para serem captados pelo sensor, mesmo num curto período de tempo ocasionado pela rotação de próprio motor, Figura 5.

A partir dessas informações o sensor de efeito Hall KY003 foi selecionado para os estudos deste trabalho, as características dele são apresentadas na Tabela 2.

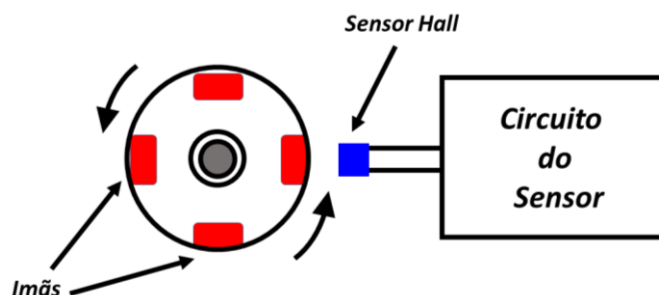


Figura 5 - Demonstração para sensores de efeito Hall

Tabela 2 – Especificações dos Sensores utilizados.

| Sensores | Tensão de entrada | Consumo de corrente | Dimensões | Tipo de detecção | Alcance | Saida | Valores (R\$) |
|-----------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------------------|-----------------|-------------|---------------|
| LM-393 | 3,3 – 5V | 25-100mA | 1,7x4,5cm | Reflexivo difuso | 3 à 80cm | NPN* | 10,70 |
| E18-80NK | 3,3 – 5V | 10-20mA | 37x14mm | Reflexivo difuso | 3 à 50cm | NPN* | 34,00 |
| KY003 | 3,3 – 5V | 10-20mA | - | Campo magnético | 5mm | NPN* | 2,78 |

**Os sensores com saída NPN possuem uma junção negativo positivo negativo, dessa forma quando o sensor é acionado ele emite um sinal de nível lógico baixo.*

3.6 Procedimento experimental

O experimento a seguir foi realizado para a validação dos sensores apresentados anteriormente, tendo o objetivo a seleção do qual irá se adequar melhor de acordo com a aplicação.

3.6.1 Montagem

Inicialmente foi feita a montagem de acordo com o diagrama abaixo:

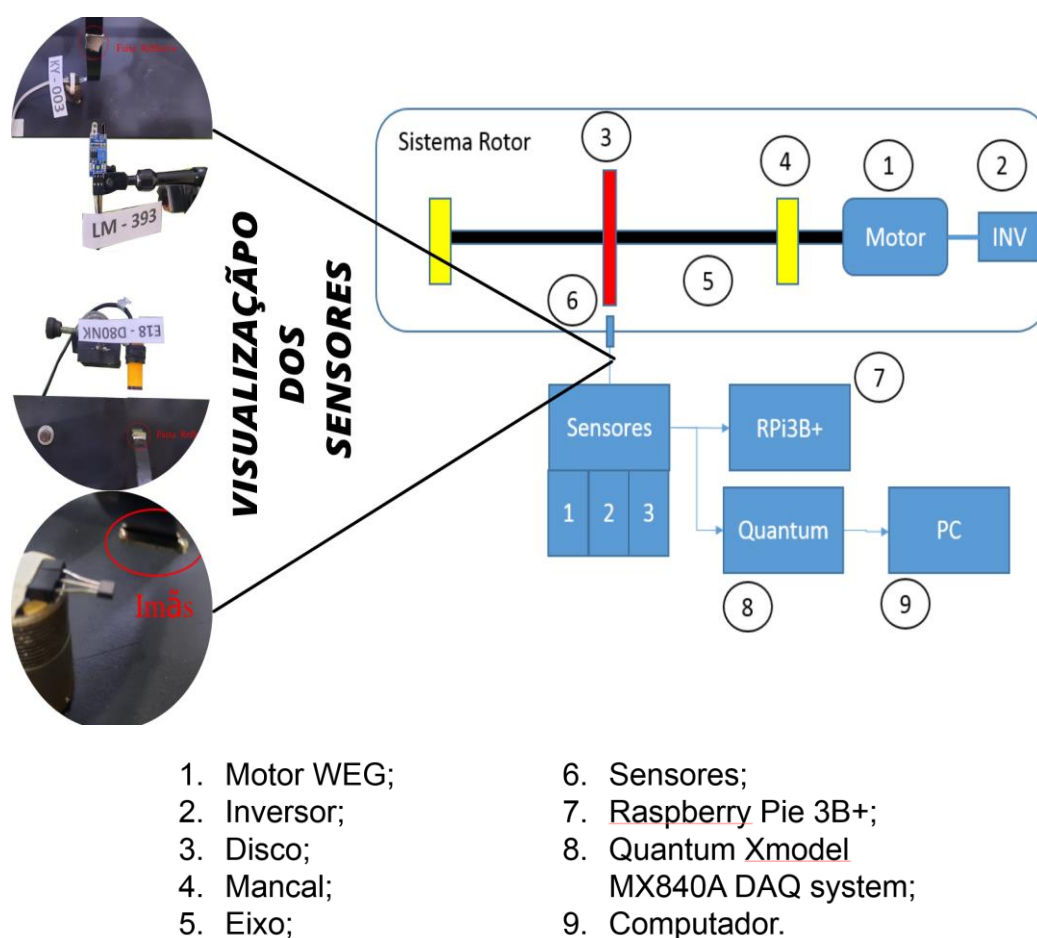


Figura 6 – Montagem do experimento.

No disco (3) foram adicionadas fitas reflexivas para acionar os sensores infravermelhos e imãs para acionar o sensor de efeito Hall, os sensores foram posicionados estrategicamente para evitar erros de leituras. Para conectar os sensores (6) no MX480B (8) foi usada uma fonte de alimentação DC, o pino de saída de cada sensor é ligado num cabo VGA e conectado no sistema de aquisição (8) como mostra o esquema abaixo.

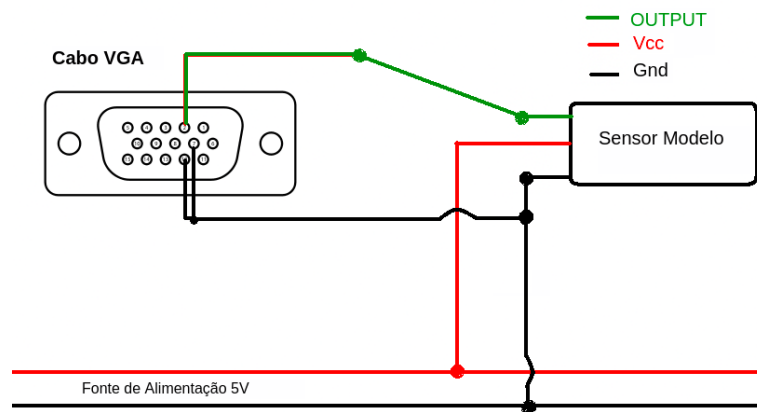


Figura 7 - Esquema para conexão dos sensores de baixo custo no HBM

Esse esquema serve para os três tipos de sensores usados devido a conexão dos pinos e tensão de alimentação serem iguais. O sistema foi excitado com frequências de 20, 30 e 40 Hz através do inversor de frequência (2), para cada valor foram realizados testes aumentando o número de pulsos para realizar o acionamento dos sensores. Foi utilizado 1, 2 e 4 pulsos por revolução, o aumento desses pulsos servem para aumentar a frequência de saída melhorando a precisão e para determinar qual a melhor forma de aplicação desse sistema. Após a coleta dos dados os mesmos foram tratados e apresentados utilizando o *MATLAB*.

3.7 Desenvolvimento e aplicação do módulo de medição de velocidade de rotação

No desenvolvimento da API (Interface de programação de aplicação) foram pesquisadas diversas bibliotecas e técnicas de simulação de interrupção, sendo o principal elemento o tempo de execução do código, usando Python, linguagem de programação presente na Raspberry pi.

O código recebe os pulsos da GPIO (General Purpose Input/Output) e começa a medir o período entre os pulsos com esse dado realiza a seguinte operação.

$$RPM = \left(\frac{1}{\text{período}}\right) * 60 \quad (1)$$

O valor calculado é atualizado e mostrado na tela à cada 10 pulsos para melhorar a apresentação dos valores.

4. Resultados parciais

4.1 Determinação da frequência de trabalho

Para qualificar os sensores escolhidos através dos estudos bibliográficos foi utilizado a montagem descrita na Figura 6, onde os dados advindos de cada sensor foram coletados simultaneamente para comparação. Esse ensaio foi executado para identificar quais sensores conseguiriam trabalhar na faixa de frequência selecionada (20 a 60 Hz) e dentre eles comparar os melhores resultados e o que melhor se adaptaria com o Raspberry pi. Nas Figuras 8, 9 e 10 e na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos.

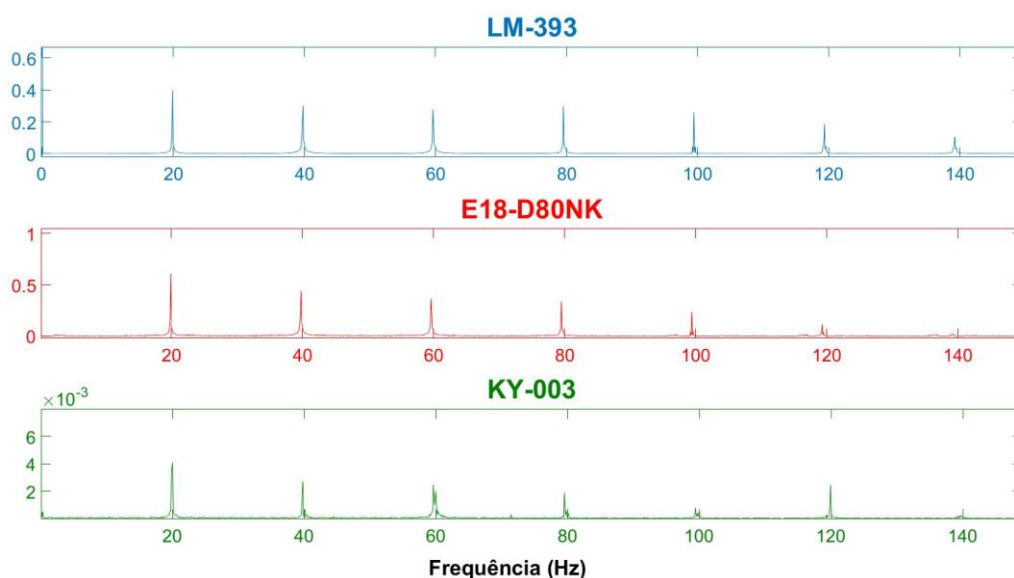


Figura 8 - 20Hz com um pulso por revolução

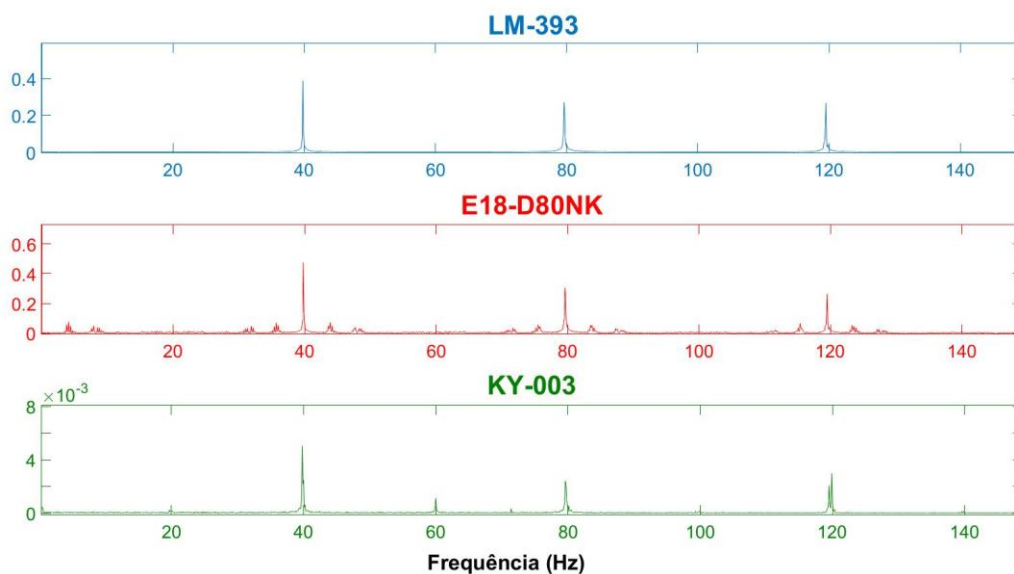


Figura 9 - 40Hz com um pulso por revolução.

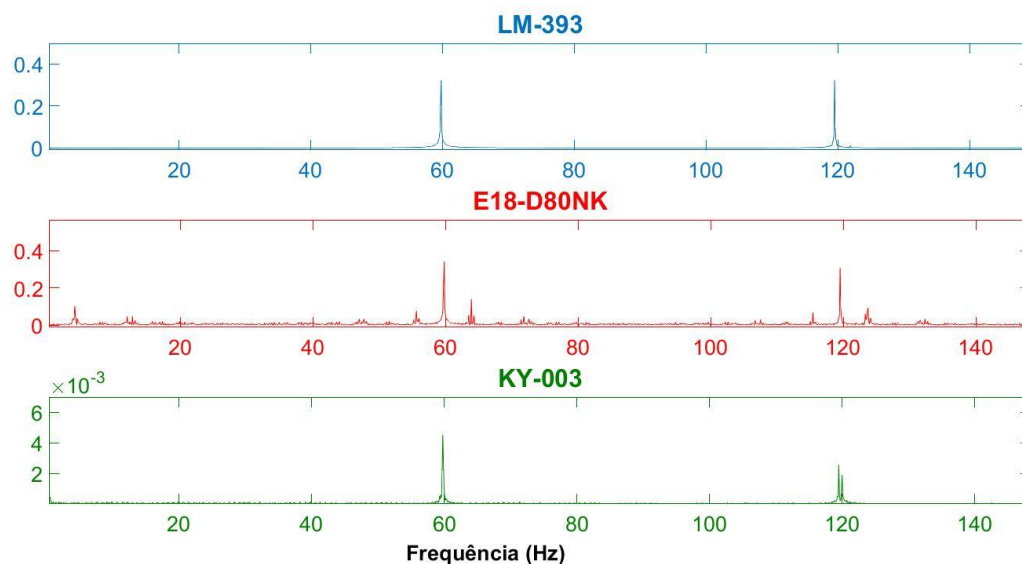



Figura 10 – 60Hz com um pulso por revolução.

Tabela 3 – Resultados experimentais com os sensores aplicados em comparação com o Quantum MX840A.

| Sensores | Frequências captadas pelo Quantum (Hz) | Pulsos por revolução | Frequência de saída – Módulo de medição de velocidade (Hz) | Erro (%) |
|---|--|----------------------|--|----------|
| LM-393  | 20,00 | 1 | 19,90 | 0,5 |
| | | 2 | 19,90 | 0,5 |
| | 39,80 | 1 | 39,66 | 0,5 |
| | | 2 | 39,66 | 0,5 |
| | 59,80 | 1 | 59,80 | 0,3 |
| | | 2 | 59,76 | 0,08 |
| E18-D80NK  | 20,00 | 1 | 19,90 | 0,5 |
| | | 2 | 19,90 | 0,5 |
| | 39,80 | 1 | 39,66 | 0,5 |
| | | 2 | 39,66 | 0,5 |
| | 59,80 | 1 | 59,80 | 0,3 |
| | | 2 | 59,75 | 0,08 |
| KY-003  | 20,00 | 1 | 20,00 | 0,0 |
| | | 2 | 19,90 | 0,5 |
| | 39,80 | 1 | 39,80 | 0,5 |
| | | 2 | 39,80 | 0,5 |
| | 59,80 | 1 | 60,99 | 0,5 |
| | | 2 | 59,75 | 0,08 |

Submetendo um modelo de tacômetro comercial ao mesmo experimento e o comparando com os dados do sistema de aquisição de dados Quantum, foi obtido os resultados apresentados na tabela 4, nesse experimento foi usado apenas um pulso por revolução pois é como se usam diariamente esse tipo de equipamento.

Tabela 4 – Resultados dos experimentos com o tacômetro comercial.

| Tacômetro | Frequências captadas pelo Quantum (Hz) | Pulsos por revolução | Frequência de saída – Minipa MDT – 2238A (Hz) | Erro (%) |
|--|--|----------------------|---|----------|
| MINIPA MDT – 2238A  | 20,00 | 1 | 19,90 | 0,5 |
| | 39,80 | 1 | 39,83 | 0,5 |
| | 59,80 | 1 | 59,58 | 0,8 |

As Figuras 8, 9, 10 apresentam os resultados das leituras no sistema de aquisição da HBM, com 1 pulso por revolução, onde os três sensores se mostraram efetivos atingindo erros de até 1% em comparação com a placa de aquisição Quantum, apresentada na Figura 6.

4.2 Compatibilidade com o Raspberry pi

Todos os sensores apresentados são compatíveis com o Raspberry pi 3B+ podendo ser implementados da mesma forma com as mesmas conexões, na Figura 11 o sensor de efeito Hall foi usado como exemplo.

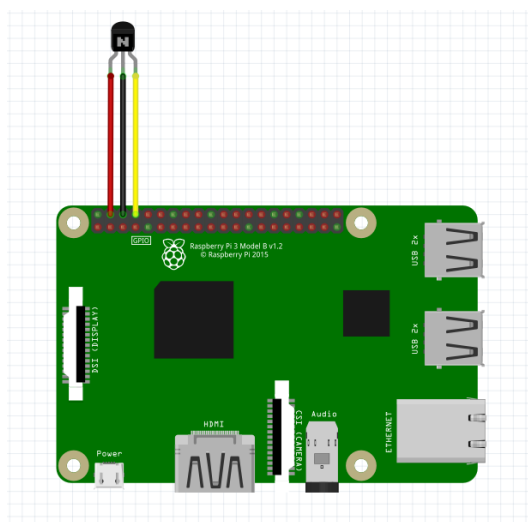


Figura 11 - Demonstração conexão dos sensores na RPi3B+.

5. Conclusões parciais

O uso das FFT's (Fast Fourier Transform) para a validação dos sensores permitiu de maneira clara a identificação das frequências capturadas pelos sensores. Comparando os resultados com o Quantum MX480A (referência), o módulo de medição de velocidade

desenvolvido apresentou resultados com erros percentuais abaixo de 1%, um modelo de tacômetro ótico convencional Minipa MDT-2238A foi colocado a prova e para uma medida de frequência obtivemos um erro menor com o sistema desenvolvido nesse trabalho.

Durante a realização do experimento foram realizados ensaios de 3 e 5 segundos com velocidade constante, nesses ensaios curtos foi notado que o sensor de efeito Hall apresenta um déficit de tempo de execução precisando de mais tempo de leitura para apresentar resultados mais nítidos. Já os sensores infravermelhos necessitam de um ajuste de distância para melhorar suas leituras.

Sendo assim, qualquer um dos sensores testados em conjunto com o módulo de medição de velocidade desenvolvido (tacômetro), poderiam ser usados para obter velocidade de sistemas rotativos. Levando em consideração a fácil aplicação e segurança os sensores infravermelhos se mostram mais eficientes pelo fato de que, ao adicionar as massas dos ímãs num rotor isso pode gerar um desbalanceamento além de que para obter boas leituras o sensor de efeito Hall deve estar bem próximo do rotor, já os sensores infravermelhos possuem um ajuste de distância os tornando mais versáteis.

6. Cronograma

Com base nas atividades já realizadas durante o desenvolvimento do projeto, as etapas 1, 2, 3 e 6, de acordo com o Quadro 1, já foram iniciadas ou finalizadas. No Quadro 2 é apresentado o estado atual da pesquisa de acordo com as atividades realizadas.

Quadro 1 - Atividades do bolsista

| Etapas | Atividade |
|---------------|--|
| 1 | Revisão bibliográfica e atualização permanente a respeito da aplicação dos tacômetros e da funcionalidade de balanceamento |
| 2 | Seleção do sensor (tacômetro) para o microcontrolador utilizado baseado em critérios predeterminados visando a modularidade |
| 3 | Implementação do módulo de análises das velocidades de rotação |
| 4 | Implementação do módulo de balanceamento de sistemas rotativos |
| 5 | Implementação das novas API's e realização de melhorias na IHM (Interface Homem Máquina) para melhor análise dos dados obtidos |
| 6 | Testes e validação de todos os módulos do analisador modular |
| 7 | Elaboração de relatórios e publicação de artigos em congressos e revistas especializadas |

Quadro 2 - Cronograma de Atividades.

| Etapas | Mês | | | | | | | | | | | |
|---------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| 1 | X | X | X | X | X | | | | | | | |
| 2 | | X | X | | | | | | | | | |
| 3 | | | X | X | X | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|---|---|--|--|--|--|--|--|--|
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | X | X | | | | | | | |

7. Referências

ADAFRUIT. Products. 2019. Disponível em: < <https://www.raspberrypi.com/products/> >. Acesso em: 18 de set. 2020.

CARMO, W. R. D. **CIRCUITO DE MONITORAMENTO DA VELOCIDADE DE UM MOTOR USANDO ENCODER INCREMENTAL**. Orientador: Prof.^a Dr.^a Kétia Soares Moreira. 2015. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia elétrica, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA, UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, VIÇOSA, 2015.

PACHECO, G.; ROQUITSKI, G.; FRANKIV, I. A. **SISTEMA MICROCONTROLADO DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA ANÁLISE DE MOTOVENTILADORES APLICADOS A REFRIGERADORES**. Orientador: Prof. Me. Amauri Amorin Assef. 2013. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Automação, DEPARTAMENTO DE ELETROTÉCNICA, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CURITIBA, 2013.

GONZÁLEZ, R. C. D. **DESENVOLVIMENTO DE UM PROTÓTIPO ANALISADOR DE VIBRAÇÃO DE BAIXO CUSTO PARA USO EM MANUTENÇÃO PREDITIVA**. Orientador: Prof. Dr. Arcanjo Lenzi. 2014. TCC (Especialização) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

OLIVEIRA, L. M. S. **CARACTERIZAÇÃO DO CONCEITO DE MODULARIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO**. Orientador: Leonardo Vieira dos Santos Reis. 2017. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, João Monlevade, 2017.

SILVA, C. M. **Sistema de controle de apresentação por meio de Raspberry Pi**. Orientador: Thiago Pirola Ribeiro. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Sistemas de Informação, Ciência da Computação, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo - MG, 2019.

MELLO, Tiago Chaves; SILVA, Vinícius Ribeiro da. Trabalho Final da Disciplina de Medições Térmicas. **TURBINA MEDIDORA DE VAZÃO**, Porto Alegre, 2010.

SILVA, Antônio Eduardo de Moraes; LIMA, Gustavo Fernandes de; SALAZAR, Andrés Ortiz. **DESENVOLVIMENTO DE TACÔMETRO MAGNÉTICO PARA MEDIÇÃO DE VELOCIDADE EM PIGs INSTRUMENTADOS**. Holos, Rio Grande do Norte, 2 mar. 2017.

LIMA, G. F. de *et al.* APLICAÇÃO DE UM TACOMÊTRO MAGNÉTICO NO MONITORAMENTO DE ROTAÇÃO UTILIZANDO ARDUINO DE VELOCIDADE EM PIGs INSTRUMENTADOS. **Holos**, Rio Grande do Norte, 27 jul. 2021.

DESIGN and Implementation of a Digital Tachometer. **International Journal of Scientific Engineering and Technology**, 1 jan. 2016.

Cariappa P K, Pooja D, Shwetha A, Sudharani B T, Geetha M N, 2018, **Contact-Less Tachometer**, INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH & TECHNOLOGY (IJERT) NCESC – 2018 (Volume 6 – Issue 13),

DENARDIN, Prof. Gustavo Weber. Microcontroladores. **Microcontroladores**, 2008.

CARVALHO, Ailton Alves de; MEDEIROS, Victor Wanderley Costa de; GONÇALVES, Glauco Estácio. **Application of low-cost sensors to estimate potential evapotranspiration**. Journal of Environmental Analysis and Progress, Recife - Pe, n. 02, p. 119-127, 14 abr. 2021.

VIERO, Carlos Frederico; VIERO, Carlos Frederico. **Module, modularity, modularization modular product: a theoretical analysis about the conceptual historical evolution**. ESPACIOS, Universidade Feevale, ano 2016, 1 fev. 2016.

AROCA, Rafael V. *et al.* Servidor web de baixo consumo de energia usando Raspberry-Pi. **Servidor web de baixo consumo de energia usando Raspberry-Pi**, [s. l.], 2017.

JUCÁ, Sandro; PEREIRA, Renata. **Aplicações Práticas de sistemas embarcados Linux utilizando Raspberry Pi**. Rio de Janeiro: PoD Editora, 2018.

SILVA, G. B. F. D.; DISTADIO, R. **Sistema de Cloud doméstico com Raspberry Pi**. Orientador: Prof.(a) Esp. Juliane Borsato Beckedorff Pinto.. 2020. TCC (Graduação) - Curso de e Tecnologia em Segurança da Informação, Segurança da Informação, Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana-SP., 2020.

COUTINHO, M. P. **SISTEMA DE MONITORAMENTO RESIDENCIAL**. Orientador: MsC Francisco Javier de Obaldia Diaz. 2016. TCC (Graduação) - Curso de Bacharel em Engenharia da Computação, Engenharia da Computação, Faculdade de Tecnologia de Americana, Brasília-DF, 2016.

MASTERWALTER ELETRONIC SHOP. **COMO USAR COM ARDUINO – SENSOR SEGUIDOR DE LINHA TCRT5000**, 2019. Página inicial. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-seguidor-de-linha-tcrt5000>>. Acesso em: 29 de março de 2022.

SALGADO, F. D. C. **UM SISTEMA EMBARCADO PARA REGISTRO DE FLUXO DE PESSOAS: Uma aplicação à biblioteca do Campus II da UNIFESSPA**. Orientador: Dr. Elton Rafael Alves. 2019. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia da Computação, INSTITUTO DE GEOCIENCIAS E ENGENHARIAS, UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARA, Marabá-PA, 2019.

PESSOA, Sávio Mateus Ferreira; SENKO, Richard. **Application of low-cost microcontrollers for the development of a modular analyzer: vibration and temperature analysis module**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, n. 07, p. 75290 -75310, 30 jul. 2021.

MAGALHÃES, D. L. **Balanceamento de Rotores Utilizando os Métodos dos 3 Pontos e do Coeficiente de Influência**. 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

CAMPOS, R. N. **Análise experimental de balanceamento de rotores pelo método de otimização “four run method accelerated”**. 2017. UnB, 2017.

HILLMAN, B. **Balancing Rigid Rotors in the Field**.