



**Universidade Federal do Paraná**

**Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Industrial 4.0**



**ADINALDO VALASZEK  
OSVALDO SOUZA BORGES**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MOTO SENSOR 4.0 PARA ANÁLISE DE  
VIBRAÇÃO E TEMPERATURA DE MOTORES ELÉTRICOS 5 A 500 CV.**

**CURITIBA  
2020**

**ADINALDO VALASZEK  
OSVALDO SOUZA BORGES**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MOTO SENSOR 4.0 PARA ANÁLISE DE  
VIBRAÇÃO E TEMPERATURA DE MOTORES ELÉTRICOS 5 A 500 CV.**

Trabalho apresentado como resultado parcial à obtenção do grau de pós-graduado em Engenharia Industrial 4.0. Curso de Pós-graduação em Engenharia Industrial 4.0, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Pablo Deivid Valle

**CURITIBA**

**2020**



# DESENVOLVIMENTO DE UM MOTO SENSOR 4.0 PARA ANÁLISE DE VIBRAÇÃO E TEMPERATURA DE MOTORES ELÉTRICOS 5 A 500 CV

**Adinaldo Valaszek**

**Oswaldo Souza Borges**

UFPR – Depto de Engenharia Mecânica/Setor de Tecnologia - Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 210 - Jardim das Américas,

Curitiba - PR, 81530-000

adinaldovalaszek@gmail.com

osouzaborges1@gmail.com

***Resumo.** A produtividade do setor industrial brasileiro não é das melhores quando comparada a grandes potências mundiais, isso se remete a diversos problemas, como: falta de ownership, parque fabril defasado, baixos investimentos em atualização tecnológica, carga tributária elevada, entre outros. Devido aos fatores comentados tem-se na indústria brasileira um elevado nível de paradas em fábricas (baixa disponibilidade de equipamentos), principalmente pela baixa cultura prevencionista. Neste sentido, o presente trabalho busca gerar informações para que os equipamentos que são o coração das indústrias brasileiras, os motores elétricos, sejam controlados real time gerando dados que permitem um planejamento de manutenção muito mais assertivo e que reduzam ao máximo paradas não planejadas. O moto sensor apresentado neste trabalho não está atrelado a nenhum fabricante, abrindo a possibilidade de utilização em qualquer motor elétrico, a comunicação dos dados é realizada via Wi-Fi, permitindo uma maior comodidade e eficiência na coleta dos dados, não necessitando de nenhuma mão de obra para tal serviço, e por fim, a fonte de alimentação do moto sensor será externa permitindo que seu tempo de vida tenha um aumento significativo, pois estará atrelado ao tempo de vida dos componentes eletrônicos do mesmo e não mais a baterias.*

*Foi desenvolvido toda a programação, prototipagem, realização de teste em laboratório e em campo, para validação do conceito do moto sensor 4.0, gerando dados que nos permitem concluir a importância de dar continuidade aos trabalhos para fabricação em larga escala.*

**Palavras chave:** Disponibilidade. Moto sensor. Planejamento. Wi-Fi. Alimentação.

## 1. INTRODUÇÃO

Os motores elétricos estão presentes na grande maioria das indústrias brasileiras e são componentes fundamentais para o funcionamento dos equipamentos. A falta de uma manutenção preventiva adequada pode interromper parte de processos produtivos seriados ou interromper até mesmo o processo principal, gerando grandes transtornos no que diz respeito a tempos de parada e produtividade geral de uma planta. Um motor elétrico é uma máquina que transforma energia elétrica em energia mecânica por meio de campos magnéticos variáveis, estes motores são compostos por uma parte fixa chamada estator e outra parte móvel denominada rotor.

Os motores elétricos são utilizados em diferentes aplicações, por exemplo, ventiladores, bombas hidráulicas, compressores de ar, exaustores, entre outros equipamentos. Podemos dizer, sem exageros, que são eles quem movimentam a indústria. Todavia, a idade média de 17 anos para os 20 milhões de motores industriais existente no Brasil é considerada alta, e para um a cada dez motores, ela ultrapassa os 40 anos. Com isso, percebemos a elevada criticidade que é a previsibilidade na manutenção destes equipamentos, pois possuem um tempo de vida elevado, são muito exigidos, e não podem parar de forma não planejada.

A principal maneira de saber se estes equipamentos estão necessitando de manutenção é por meio da verificação da temperatura da carcaça e vibração global do equipamento, o que pode sinalizar o aquecimento do estator ou desbalanceamento do rotor, gerando uma intervenção antes que ocorra a queima ou quebra do motor. Estes dois parâmetros normalmente são acompanhados periodicamente por meio de pirômetros ou solicitação de análise de vibração fornecida por empresas especializadas.

O grande problema disso é que muitas vezes a periodicidade com que é realizada a análise não consegue mapear pontos de variação característicos que ajudariam na análise. Deste modo, grandes empresas da atualidade estão desenvolvendo moto sensores que ficam instalados na aleta do motor e fazem a leitura destes parâmetros a todo momento.

Apesar de no mercado já existirem moto sensores, estes são de protocolo proprietário, ou seja, estão atrelados a fabricantes de motores, e sua forma de venda é “casada” com um contrato de anuidade para utilização da Nuvem (coleta de dados realizada por *bluetooth*).

A necessidade é poder monitorar a temperatura e vibração de cada motor, com objetivo de prever uma possível falha do mesmo, sem estar atrelado a contratos de utilização e tendo um menor custo.

Para um produto atrativo no mercado, frente as tecnologias já existentes, exige-se a criação de uma solução que contenha os seguintes pré-requisitos:

- Protocolo não proprietário;
- *Wi-Fi* integrado (Taxa de transf. de 1Gbps com tempo de manutenção de dados de 6 meses para 2 leituras diárias p/ motor);
- Alimentação externa (independente de baterias);

Para o desenvolvimento, temos de ter uma integração forte entre: Tecnologia da Informação, Tecnologia de Automação, *Internet Industrial of Things* e *Big Data*.

O desenvolvimento da solução será realizado visando a criação de um moto sensor que possa ser homologado e escalonado, resultando em um produto com custo inferior a tecnologia proposta por determinados fabricantes.

## 2.1. Objetivo

Desenvolver um moto sensor capaz de realizar medições de vibração global e temperatura de superfície de carcaça, as quais serão comparadas a faixas pré-definidas pela potência de cada motor, e auxiliar na verificação de possíveis falhas. Este moto sensor terá protocolo não proprietário, *wifi* integrado, alimentação externa e custo de fabricação inferior comparado a solução ofertada pelos fabricantes de motores. O Nível de proteção do moto sensor será IP65.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Motores Elétricos

O motor é um dispositivo desenvolvido com a finalidade de converter energia, um motor elétrico por sua vez tem a capacidade de converter energia elétrica em energia mecânica.

#### 2.1.1 História

De acordo com Zerbien (1992), o surgimento dos motores elétricos aconteceu a mais de 400 anos, quando William Gilbert publicou sua obra sobre atração magnética em 1600. Em seguida, em 1663, o alemão Otto Guericke construiu a primeira máquina eletrostática (duas rodas atadas por uma correia que podiam ser giradas manualmente para produzir fagulhas elétricas) onde observou que havia uma correlação entre o movimento e as descargas de energia.

Em 1786, Luigi Galvani e sua equipe descobriram a bioeletricidade, por meio de testes em uma rã que estava morta e foi encostada por um bisturi que continha energia estática, fazendo com que seus músculos contraíssem, ou seja, perceberam que era possível conduzir eletricidade através dos músculos. Sabendo disto, Alessandro Volta desenvolveu a primeira bateria elétrica, colocando dois metais diferentes imersos em um líquido condutor com corrente elétrica, notando assim que a corrente passa a fluir de um para o outro.

Já nos anos de 1820 a 1838, ocorreram grandes descobertas, como a de que a eletricidade gera um campo eletromagnético, o qual possibilitou o desenvolvimento do primeiro eletroímã. Em 1831, Michael Faraday fez um importante avanço ao descobrir a indução elétrica, ou seja, que é possível utilizar o campo magnético para impulsionar outras corrente e objetos.

A partir de 1856, Werner Siemens foi o grande puxador dos avanços relacionados ao eletromagnetismo, criou o gerador magnético de induzido duplo, tirou os ímãs e permitiu que o motor se auto excite, criando uma corrente elétrica própria, assim como, criou o gerador de corrente contínua auto-induzido, dando origem aos motores modernos (SENS, 1985).

Outros cientistas e pesquisadores também fizeram grandes contribuições periféricas que foram tornando essa evolução possível.

#### 2.1.2 Funcionamento

De uma maneira bem prática, pode-se dizer que um motor elétrico funciona por meio de ímãs naturais e artificiais, os quais são criados apenas quando o dispositivo é conectado a uma corrente elétrica. Quando isso ocorre, esta energia chega a uma bobina, posicionada dentro de uma peça chamada rotor, a qual se torna um eletroímã e passa a emitir um campo eletromagnético que entra em um processo de repulsão com o campo gerado pelos ímãs naturais, levando assim o rotor a girar.

A bobina é quem garante a inversão de polaridade, o que impossibilita que os polos fiquem alinhados e o movimento do rotor se encerre. Essa inversão é causada por sua fonte de alimentação, que é responsável por definir o tipo do dispositivo. Existem dois tipos diferentes de correntes elétricas, alternada e contínua. Os motores elétricos são categorizados de acordo com o tipo de corrente que utilizam. Motor elétrico com corrente alternada é o mais utilizado,

pois a corrente alternada, disponível na rede pública de energia elétrica, naturalmente inverte a variação de seu fluxo, várias vezes por segundo, isso impede que a repulsão de polos, necessária para o funcionamento do dispositivo, seja interrompida. Motor elétrico com corrente contínua é utilizado onde a corrente alternada não está disponível ou é muito cara, esse tipo de dispositivo retira a energia elétrica de baterias. Como essa corrente não se alterna por conta própria, o processo de inversão é feito por uma peça conhecida como comutador, que deve ser instalada dentro do eletroímã.

### 2.1.3 Aplicações dos motores na indústria

O tipo de indústria, sua dinâmica, localização e tipo de operação são determinantes para a escolha do tipo de motor que será empregado. Fato é que indiferente do tipo de motor, os componentes básicos de operação são os mesmos e o objetivo final, que é gerar movimento também. Deste modo, segue alguns exemplos de máquinas que fazem uso de motores elétricos, como: esteiras transportadoras, elevadores eletromecânicos, exaustores de pequeno e grande porte, entre outros.

## 2.2 Tipos de manutenção

Conforme Kardec e Nascifi (2001), o tipo de manutenção que realizamos e as práticas definem as características de cada uma:

1. Manutenção Corretiva Não planejada: Corrige de forma não planejada uma falha já ocorrida;
2. Manutenção Corretiva Planejada: Corrige de forma planejada uma falha esperada;
3. Manutenção Preventiva: Manutenção em equipamentos baseada em tempos pré-definidos por fabricantes ou históricos de manutenções corretivas;
4. Manutenção Preditiva: Manutenção realizada, baseada em medições de parâmetros, tais como: vibrações, temperaturas, correntes e tensões. Estes parâmetros medidos, são comparados com valores de referência ditados por fabricantes e desta forma podem realizar manutenção antes da quebra.
5. Manutenção Detectiva: Manutenção realizada, provenientes de falhas ocultas, que podem gerar uma falha, podendo parar uma fábrica inteira, “trip” ou “shut-down”, normalmente ocorre em disjuntores gerais de subestações, que através de relés, atuam e desligam o disjuntor para verificação, antes que possa ocorrer uma falha de consequências graves.
6. Engenharia de Manutenção: Buscar melhorias constantes, aprimorando equipamentos, analisando modos de falhas, realizando alterações nos projetos das máquinas, através de históricos de corretivas, preventivas e preditivas.

## 2.3 Tipos de sensores

Sensores são dispositivos que sofrem alguma ação primária e com isto detectam e respondem a esta ação, gerando outra ação secundária. Estes podem ser: analógicos, digitais ou transdutores.

As ações primárias que podem ser detectadas são: calor, pressão, movimento e som.

Os sensores podem ser: 1. Acústico; 2. Elétrico; 3. Magnético; 4. Mecânico; 5. Óptico; 6. Térmico.

Atualmente estão sendo desenvolvidos também sensores que contém até 8 funções, são elas: acelerômetro, giroscópio, magnetômetro, umidade, pressostato, termômetro, sonoro e luz.

Para dimensionar qual tipo de sensor se adequa melhor a aplicação, são necessárias algumas informações, como: Sinal de resposta; Range de operação; Velocidade de resposta; Proteção e Calibração.

Neste trabalho, iremos nos ater a dois tipos de sensores principais, são eles: Térmico e Acelerômetro, pois o objetivo é realizar medições de temperatura e vibração.

### 2.3.1 Vibração

A modo de vibração de qualquer objeto está relacionada a deslocamento, velocidade e aceleração.

Deslocamento	Velocidade	Aceleração
$X = A \cdot \sin \omega t$ (1)	$v = A \cdot \omega \cdot \cos \omega \cdot t = \delta x / \delta t$ (2)	$a = -A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega \cdot t = \delta y / \delta t$ (3)

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \quad (4) \text{ sendo } f = \text{frequência em ciclo/s}$$

$$v = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot A \quad (5) \quad \text{e} \quad a = (2 \cdot \pi \cdot f)^2 \cdot A \quad (6)$$

Sendo:

A = Amplitude (mm).

$\omega$  = Velocidade angular (rad/s).

t = tempo (s).

Os acelerômetros têm sido utilizados, pois tem ampla faixa de resposta de frequência, peso e dimensões reduzidas e ainda são resistentes a temperaturas.

Para realizar as medições são utilizados alguns instrumentos, como: Vibrômetro; Caneta de medição de vibração; Analisadores de vibração; Osciloscópios; Analisadores de tempo real; Coletores de dados e Coletores Analisadores.

### 2.3.1 Temperatura

Podemos analisar alterações em qualquer equipamento desde que monitoremos a temperatura, variando sabemos que ocorreu alguma alteração no sistema.

Principais métodos de medição: Termômetro de contato; Fitas indicadoras de temperatura; Giz indicador de temperatura; Tinta termo-sensível; Medição de temperatura por radiação; Pirômetro de radiação; Pirômetro ótico; Sistemas infravermelhos; Radiômetros; Termovisores e termografia.

### 2.4 Microcontrolador ESP 32

Características:

- Baixo custo, baixo consumo de energia, microcontrolador integrado, Wi-Fi e Bluetooth.
- Antena integrada, RF tipo balun, amplificador de potência, receptor de baixo ruído amplificado.

Em pesquisa bibliográfica encontramos diversos trabalhos que citam o microcontrolador ESP-32 para processamento e análise de dados (BABIUCH M.; et al., 2019) aplicados a monitoramento de Vazamentos de GLP (ABDULLAH, A.; et al., 2018), monitoramento em tempo real de um Sistema Fotovoltaico (ALLAFI, I.; et al., 2017) e para dispositivos de medição e análise de vibração (KOENE, I; et al., 2020).

O microcontrolador ESP32 foi desenvolvido por uma empresa chinesa Espressif Sistemas e fabricado pela TSMC utilizando processos da fabricação 40 nm. Fabricado em 6 de setembro de 2016, CPU @160 ou 240 MHz, memória de 520 KiB SRAM, alimentação de 3,3 VCC. Processadores de 32 bits, conectividade sem Wi-Fi 802,11 b/g/n e Bluetooth v4.2 BR/EDR e BLE. Interfaces para periféricos de 12 bit SAR ADC até 18 canais, 2x8 bit DACs, 10 sensores de toque (GPIOs de detecção capacitiva), sensor de temperatura, 4xSPI, 2xInterfaces I2S, 2xInterfaces I2C, 3XUART, controlador de host SD/SDIO/CE-ATA/MMC/Emmc, controlador escravo SDIO/SPI, interface Ethernet MAC, barramento CAN 2.0, controlador remoto infravermelho (TX/RX, até 8 canais), motor PWM, LED PWM (até 16 canais), sensor de efeito Hall.

**Linguagens de programação**, IDE Arduino com núcleo ESP32, Espressif IoT Development Framework Oficial, Espruino- JavaScript SDK, Lua RTOS, Mongoose OS, Mruvy, plataforma Ecosistema e IDE, Pyamkr IDE IDE para dispositivos Pycon, simba plataforma, Whitecat ecossistema Blockly Web com IDE, MicroPython e Zeryth- Python par IoT.. ([www.pt.m.wikipedia.org](http://www.pt.m.wikipedia.org))

**Acelerômetro e Giroscópio** 3 eixos 6 DPF MPU 6050, único chip, contém acelerômetro e um giroscópio tipo MEMS, são 3 eixos para cada sistema, sendo 6 graus de liberdade, tem um sensor de temperatura, permitindo medições de temperatura entre -40 e +80 °C. Possui alta precisão devido ao conversor analógico/digital de 16 bits, captura os canais X, Y e Z ao mesmo tempo.

**Especificações**, Chip: MPU, tensão de operação 3-5V, conversor AD 16 bits, protocolo padrão I2C, faixa do giroscópio=± 2, ±4, ±8, ±16g, dimensões: 20x16x 1 mm.

### 2.5 Linguagens de Programação

Python é considerada a quarta linguagem mais popular, primeiro vem JavaScript, seguindo HTML/CSS, SQL e Python, JAVA e Bash/Shell/Powershell. Python, considerada a tecnologia mais procurada. A linguagem foi criada por Guido Van Rossum em 1991. O Python atualmente é suportada pelas principais plataformas (Windows, Linux, Macintosh, Solaris).

React Native é um framework, desenvolvido pela equipe do Facebook, para aplicativos mobile, utilizando Javascript. Boa integração entre as funções do celular, giroscópio por exemplo.

React JS (JavaScript) é uma biblioteca de código aberto, com objetivo de criar uma interface do usuário em páginas da web, criado em 2013 pelo Facebook.

## 3. MATERIAIS

Para a fabricação do dispositivo de monitoramento de vibrações foram utilizados os seguintes componentes eletrônicos:

- Microcontrolador ESP 32;
- Acelerômetro e Giroscópio 3 eixos MPU 6050

Os programas de computadores desenvolvidos utilizaram três linguagens de programação (todas de distribuição gratuita – código aberto): *Python*, *React Native* e *React JS*.

O material usado na fabricação foi o polímero ácido láctico, PLA. As características de processamento e propriedades mecânicas deste filamento de PLA seguem descritas na Tabela 1:

Tabela 1: Propriedades físicas e mecânicas do PLA Ingeo Nature Works.

Fonte: <[https://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Technical-Data-Sheets/TechnicalDataSheet\\_3D870\\_monofilament\\_pdf.pdf?la=em](https://www.natureworksllc.com/~media/Files/NatureWorks/Technical-Documents/Technical-Data-Sheets/TechnicalDataSheet_3D870_monofilament_pdf.pdf?la=em)> Acesso em 13/10/2017.

Propriedades Físicas	
Densidade, g/cc	1,24
MFR, g/10min	70-90
Viscosidade Relativa	4
Temperatura de Fusão °C	165-180
Temperatura de Transição Vítrea °C	55-60
Propriedades Mecânicas	
Resistência ao impacto J/m	118
Resistência a tração Mpa	50
Modulo de tensão, Mpa	2315
HDT °C	80-90

#### 4. MÉTODOS

O programa de computador desenvolvido utilizou as funcionalidades do acelerômetro MPU 6050, que monitora a aceleração em três eixos, desta forma, foram aplicadas fórmulas para converter estes valores em velocidade, que é a forma padrão de medir as vibrações de equipamentos, no caso deste trabalho um motor elétrico, além dos dados da aceleração o módulo MPU 6050 fornece a temperatura do motor. Considerando que o dispositivo é fixado no motor, ele é capaz de medir os movimentos dele, realizando leituras em intervalos de um segundo, acumulando estes valores e determinando uma média aritmética, visando assim obter leituras precisas das vibrações do motor.

Os valores obtidos são processados em intervalos determinados pelo utilizador (por exemplo: em intervalos de 1 hora) e então gravados em um ambiente armazenamento em nuvem, no caso deste estudo foi utilizado o sistema gerenciador de banco de dados MongoDB Atlas que também tem uma versão gratuita para utilização.

Com o objetivo de permitir que o usuário faça a consulta dos dados armazenados na nuvem foi desenvolvido um site, o qual se hospeda na plataforma, também gratuita, Heroku. Essas informações são acompanhadas em tempo real pelo usuário do sistema de computação, e é possível realizar de qualquer equipamento conectado à rede mundial de computadores (internet) e acessar o módulo do sistema responsável pelas leituras em tempo real, onde é possível verificar o histórico das leituras feitas pelo sistema de monitoramento de vibrações, esses dados também podem ser extraídos no próprio sistema supervisorio, uma vez que os dados são exportados para arquivos do tipo planilha eletrônica. O sistema também pode ser configurado para fazer leituras em diferentes intervalos de tempo, deixando assim o usuário livre para extrair os dados da maneira que atenda suas necessidades. Como os dados são armazenados em nuvem estão protegidos por criptografia e também são preservados por rotinas constantes de cópia de segurança.

Para o desenvolvimento do enclausuramento foi utilizada uma impressora 3D tendo em vista a versatilidade do processo e a natureza de protótipo do projeto, a peça foi modelada no software *Fusion 360* fornecido pela Autodesk, também na sua versão gratuita. A peça desenvolvida possui 2 partes, que além de servir de suporte para o ESP 32, serve como base para fixação do enclausuramento no motor por meio de parafusos fixadores. A segunda parte da peça suporta o Acelerômetro, o acelerômetro é fixado com parafusos, para minimizar problemas de deslocamento, garantindo assim que as leituras sejam precisas e que ele esteja paralelo a base do enclausuramento, evitando confusão em relação aos eixos de coleta do valor da aceleração.

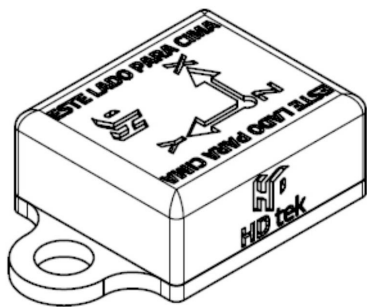


Figura 1. Projeto 3D e fotos da cápsula de proteção do microprocessador e sensores.

O desenho da peça é mostrado na Figura 1, onde tem-se a visão 3D da cápsula de proteção do microprocessador e sensores, bem como uma visão de cada vista da peça.

## 5. RESULTADOS

Após o desenvolvimento de toda a programação e criação da base de dados, assim como, o encapsulamento do microprocessador e sensores, iniciamos os trabalhos de simulação de aplicação do moto sensor em ambiente controlado, o que nos gerou os seguintes Gráficos.

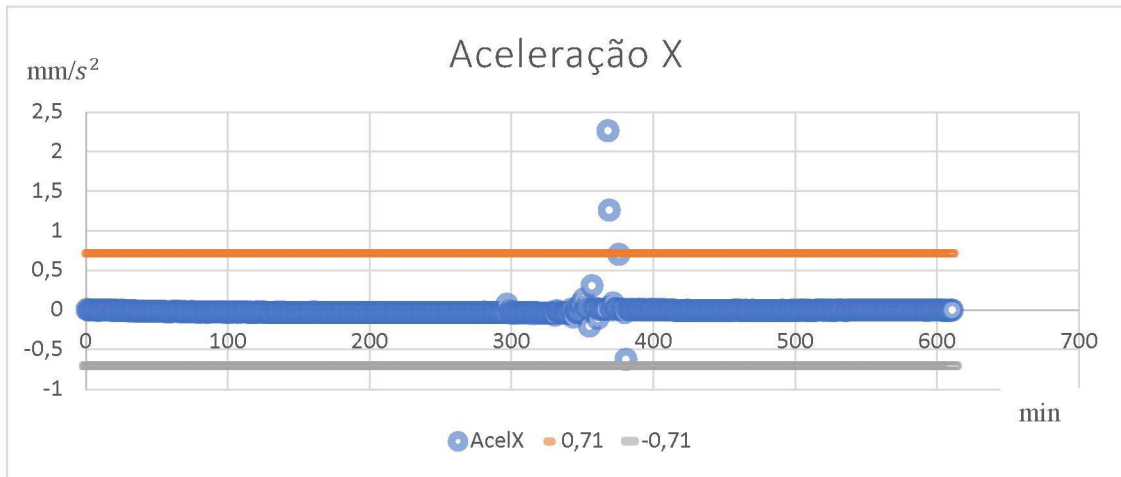


Gráfico 1: Dados referentes a vibração do motor no eixo X como pode ser observado alguns dos valores registrados estão acima do desejado. [fonte: O Autor]

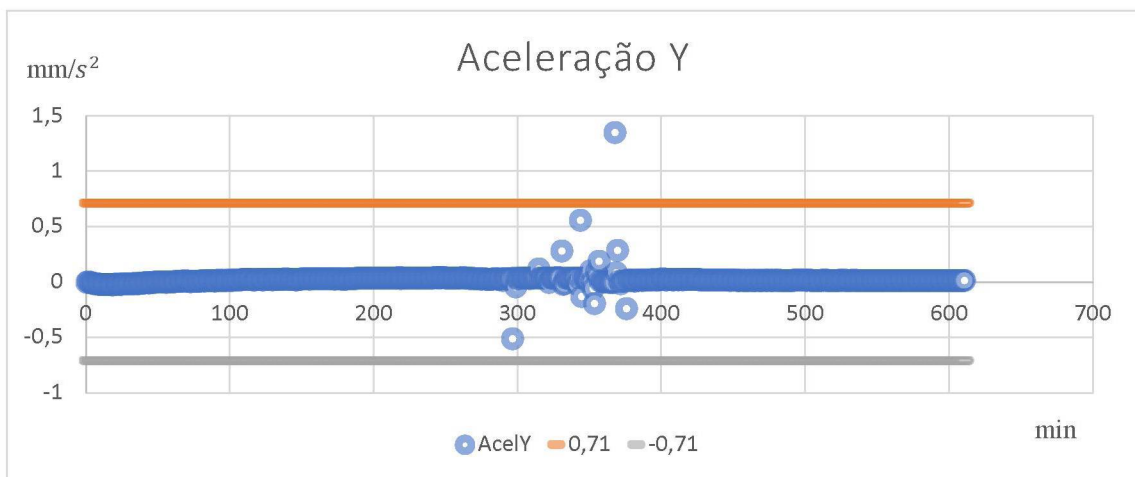


Gráfico 2: Dados referentes a vibração do motor no eixo Y como pode ser observado nesse caso por mais que exista uma variação os valores continuam dentro dos limites. [fonte: O Autor]

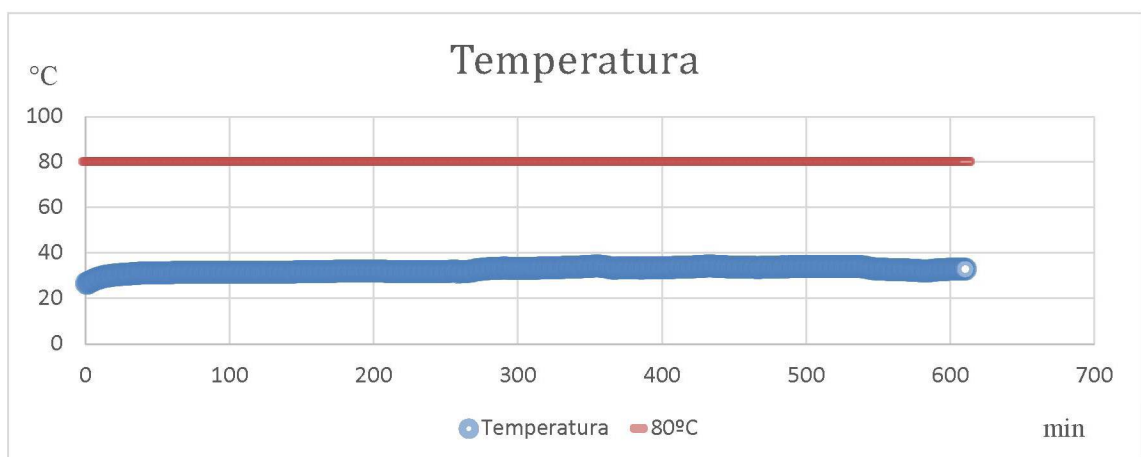


Gráfico 3: Valores de temperatura todos abaixo do limite estipulado. [fonte: O Autor]

Pelos Gráficos 1 e 2 temos as leituras dispostas entre os limites aceitáveis de vibração para o funcionamento do motor, tais gráficos são referentes as leituras do dia 04/03/2020, feitas minuto a minuto como definido no sistema, nesse dia foram registradas 611 leituras, tal dia foi escolhido para análise por possuir algumas leituras que variaram dos valores aceitáveis para o motor definido para o experimento. Como se trata de um experimento em ambiente controlado foi estipulado esse intervalo de medição apenas para compreensão e validação dos dados que seriam obtidos, os quais gerariam um gráfico para análise de leitura, com um grande número de leituras em uma menor base de tempo. No total foram feitas 24.456 leituras para a validação do sistema, nessas leituras podem ser observados picos de vibração provocados propositalmente para que fosse feito o registro de tais leituras e então realizar análises posteriores.

Nestes gráficos é possível observar como as leituras fora dos padrões ideais de operação dos motores podem ser facilmente identificadas a partir dos dados extraídos do sistema. Um exemplo de aplicação é a criação de alertas para a gestão de manutenção, que irá definir um melhor acompanhamento da progressão da vibração/temperatura do motor ou definir a realização de alguma intervenção programada.

Para as medidas de temperatura, como pode ser observado no Gráfico 3, foi adotada uma metodologia similar à da vibração onde os dados extraídos do sistema foram compilados em uma planilha e um gráfico foi gerado para que fosse possível observar variação da temperatura no mesmo ambiente controlado. Os dados referentes ao Gráfico 3 também foram retirados do mesmo dia das leituras de vibração (04/03/2020), a temperatura se manteve sempre abaixo do que foi estipulado como máximo aceitável.

Após a realização de testes em laboratório entramos em contato com uma empresa do ramo metalúrgico nos Campos Gerais e escolhemos um motor de 20 CV da marca WEG 3520 rpm, para estar realizando os testes em campo. Este motor é utilizado na bomba de circulação de água de uma torre de refrigeração, fica em um ambiente bastante agressivo, trabalha 24 h/dia e é um equipamento vital para o funcionamento do processo, assim como para questões de segurança, pois é ele quem garante a refrigeração das bobinas.

A empresa nos forneceu acesso a wireless por um tempo determinado, devido a abertura de protocolo, foi realizado a abertura do moto sensor em bancada, realizado testes de funcionamento, como pode ser visto na Figura 2, e posteriormente instalado no motor comentado acima.

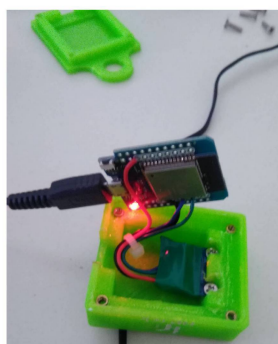


Figura 2. Moto sensor sendo aberto em bancada para teste de funcionamento.

A instalação do moto sensor foi realizada na aleta do motor, e a fonte de alimentação foi de 220V externa (a ideia é ligar na própria fase do motor e no terra, para que seja independente de baterias ou ligações externas).

A sequência de fotos apresentada na Figura 3, mostra a instalação, o posicionamento no motor, a análise com uma câmera térmica onde podemos visualizar o moto sensor e os dados sendo transmitidos *on real time* para um aparelho celular.

Figura 3. Moto sensor sendo instalado e início dos testes.

Com acesso ao site desenvolvido para armazenamento dos dados na nuvem, foi criado um dashboard que permite a visualização das informações de vibração e temperatura do motor, assim como, os dados que estão sendo gravados. Pode-se visualizar também que a plataforma foi desenvolvida para suportar diversos motores, os quais você nomina e escolhe antes da visualização dos dados.

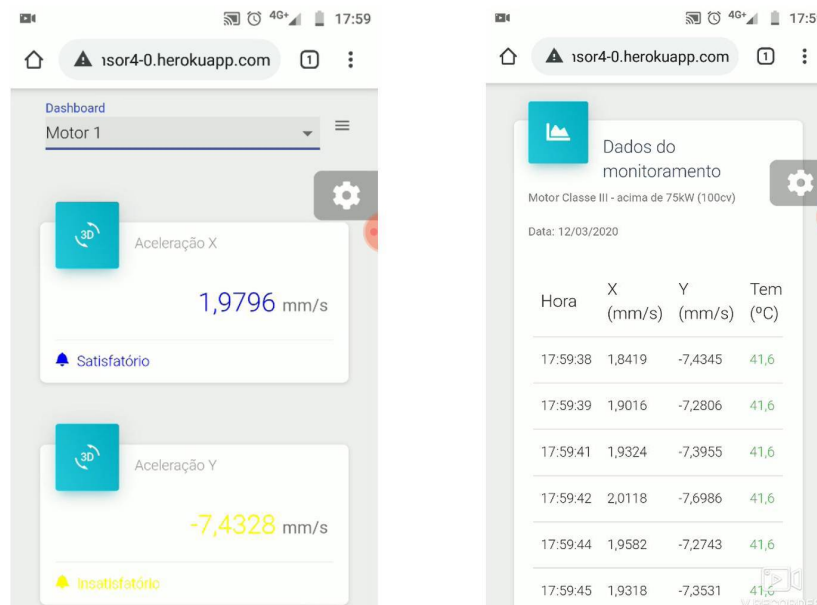


Figura 4. Dashboard criado na Plataforma Heroku.

Com isso, validamos a utilização do protótipo em campo. Os próximos passos são a parametrização e aferição do moto sensor com equipamentos certificados, criação de um protocolo de segurança que nos permita utilizar a *Wi-Fi* de clientes de forma segura aos mesmos e, por fim, desenvolvimento de um projeto para fabricação do moto sensor em larga escala.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos parceiros da empresa HD Tek que nos auxiliaram com o desenvolvimento da programação, e fabricação do protótipo para testes.


## 7. REFERÊNCIAS

- ABDULLAH, A. H.; SUDIN, M. I. M.; AJIT, M. I. M., et. al. *Development of ESP32 based Wi-fi Electronic Nose System for Monitoring LPG Leakage at Gas Cylinder Refurbish Plant*. 978-1-5386-8369-9/18/\$31.00 ©2019 IEEE.
- ALLAFI, I. e IQBAL, T. *Design and Implementation of a Low Cust Web Server Using ESP32 for Real-Time Photovoltaic System Monitoring*. 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC). 2017.
- BABIUCH M.; FOLTÝNEK, P. e SMUTNÝ, P. *Using the ESP32 Microcontroller for Data Processing*. 978-1-7281-0702-8/19/\$31.00 ©2019 IEEE. 2019.
- KARDEC, Alan & NASCIF, Julio Aquino. *Manutenção Função estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 2ª edição.
- KOENE, I.; KLAR, V. e VIITALA, R. *IoT connected device for vibration analysis and measurement*. *Journal homepage: www.elsevier.com/locate/ohx*. 2020.
- SENS, Moacyr Rogério. “Avanços tecnológicos nos motores elétricos”. *Eletricidade moderna*, Abril, 1985.
- ZERBIEN, Rudi. *História do Motor Elétrico*. Pesquisa histórico/científica. Jaraguá do Sul, 1992.
- “O que são sensores e quais as suas aplicações?” 18 July, 2020. <[www.mundodaeletrica.com](http://www.mundodaeletrica.com)>
- “Acelerômetro e Giroscópio”. 18 July, 2020. <[www.filipeflop.com](http://www.filipeflop.com)>
- “Linguagem de Programação Python Pro.” 24 July, 2020. <[www.python.pro.br](http://www.python.pro.br)>

## 8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.


8. ANEXO



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

01

# Moto Sensor H4.0



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ


### Problema e Necessidade

No Brasil há aprox. 1200 fundições de acordo com a ABIFA, sendo que cada uma destas possui diversos motores que podem interromper parte de processos produtivos seriados ou interromper até mesmo o processo principal, gerando grandes paradas. O custo estimado de uma parada de fábrica é de R\$ 11.100,00/h.

Para uma Fundição com aprox. 80 motores 5 a 500 cv o custo médio anual em corretivas de motores é de aprox. R\$ 60.000,00 adicionados a um custo de R\$ 12.000,00/ano para realizar uma análise de vibração.

Apesar de no mercado já existirem moto sensores, estes são de protocolo proprietário, ou seja, estão atrelados a fabricantes de motores, e sua forma de venda é "casada" com um contrato de anuidade para utilização da Nuvem (coleta de dados realizada por *bluetooth*).

A necessidade é poder monitorar a temperatura e vibração de cada motor, com objetivo de prever uma possível falha do mesmo, sem estar atrelado a contratos de utilização e tendo um menor custo.



### equipe

- Adinaldo Valaszek
- Osvaldo Souza Borges

### User Experience & Público Alvo

O Moto sensor H4.0 não esta atrelado a nenhum fabricante, abrindo a possibilidade de utilização em qualquer motor elétrico.

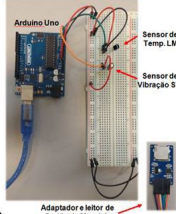
Além disso, a comunicação dos dados ser realizada via *Wifi*, permite uma maior comodidade e eficiência na coleta dos dados, não necessitando nenhuma mão de obra para tal serviço. A atualização dos dados será realizada 2 vezes ao dia, e caso haja algum ponto fora dos limites pré estabelecidos para cada tipo de motor, será emitido um alarme de atenção para que o gestor tome as devidas ações.

Outro grande diferencial, esta na alimentação externa do moto sensor, o que irá aumentar significativamente seu tempo de vida útil, pois não esta mais atrelado a baterias, mas sim ao tempo de vida dos componentes eletrônicos do mesmo.


### ideia

Desenvolver um moto sensor capaz de realizar medições de vibração global e temperatura de superfície de carcaça, as quais serão comparadas a curvas pré definidas pela potência de cada motor, e auxiliar na verificação de possíveis falhas. Este moto sensor terá protocolo não proprietário, *wifi* integrado, alimentação externa e custo de fabricação inferior comparado a solução ofertada pelos fabricante de motores. O Nível de proteção do moto sensor será IP65.

#### 1º experimento



Adaptador e leitor de Cartão de Memória



Solução do Fabricante Coleta por *bluetooth* do celular e interface de análise

### Monetização e/ou Investimento

Para fabricação do protótipo temos uma previsão aproximada de:

Quant.	ITEM	Custo
1	Micro processador NODE MCU ESP 8266	R\$ 39,80
1	Sensor de Temperatura LM-35	R\$ 8,90
1	Sensor de Vibração SW-180-20P	R\$ 5,00
1	Case Encapsulamento	R\$ 20,00
Custo do Protótipo:		<b>R\$ 73,70</b>
Programação e Desenvolvimento		R\$ 9.300,00
Custo do Projeto:		<b>R\$ 9.373,70</b>

Para instalação de 80 motosensores em uma Fundição dos Campos Gerais a comparação frente ao concorrente seria:

80 \* R\$ 900 = R\$ 72.000,00      **21% DO INVESTIMENTO**

R\$ 9.300 + (80 \* R\$ 73,70) = R\$ 15.196,00      **TOTAL PREVISTO**

Para o desenvolvimento, temos de ter uma integração forte entre: Tecnologia da Informação, Tecnologia de Automação, *Internet Industrial of Things* e *Big Data*.

O desenvolvimento da solução será realizado visando a criação de um moto sensor que possa ser homologado e escalonado, resultando em um produto com custo inferior a tecnologia proposta por determinados fabricantes. Abaixo o esquema de venda utilizado por um dos concorrentes:

Moto sensor / protocolo proprietário	Anuidade / utilização da Nuvem	Custo 1º ano	Custo 2º ano	Custo 3º ano
R\$ 600,00	R\$ 300,00	R\$ 900	R\$ 300,00	R\$ 300,00

3 anos de vida útil de bateria

Requisitos | Viabilidade

Para um produto atrativo no mercado, frente as tecnologias já existentes, exige-se a criação de uma solução que contenha os seguintes pré requisitos:

- Protocolo não proprietário;
- *Wifi* integrado (Taxa de transf. de 1Gbps com tempo de manutenção de dados de 6 meses para 2 leituras diárias p/ motor);
- Alimentação externa (independente de baterias);

Requisitos | Viabilidade

Para o desenvolvimento, temos de ter uma integração forte entre: Tecnologia da Informação, Tecnologia de Automação, *Internet Industrial of Things* e *Big Data*.

O desenvolvimento da solução será realizado visando a criação de um moto sensor que possa ser homologado e escalonado, resultando em um produto com custo inferior a tecnologia proposta por determinados fabricantes. Abaixo o esquema de venda utilizado por um dos concorrentes:

Moto sensor / protocolo proprietário	Anuidade / utilização da Nuvem	Custo 1º ano	Custo 2º ano	Custo 3º ano
R\$ 600,00	R\$ 300,00	R\$ 900	R\$ 300,00	R\$ 300,00

3 anos de vida útil de bateria

CANVAS ideação

Pós UFPR: um futuro melhor para as crianças

CANVAS ideação