

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS UNIS
ENGENHARIA MECÂNICA
RAFAEL GIANESINI MEGDA

INDÚSTRIA 4.0: aplicação dos conceitos para identificar falhas de lubrificação

Varginha
2018

RAFAEL GIANESINI MEGDA

INDÚSTRIA 4.0: aplicação dos conceitos para identificar falhas de lubrificação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Jonathan Oliveira Nery.

**Varginha
2018**

RAFAEL GIANESINI MEGDA

INDÚSTRIA 4.0: aplicação dos conceitos para identificar falhas de lubrificação

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: / /

Prof. Esp. Jonathan Oliveira Nery

Prof.

Prof.

OBS.:

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela permissão em estudar e concluir o bacharelado em Engenharia Mecânica, ao meu orientador Jonathan Oliveira Nery pelo total apoio nos ensaios realizados, a Renato Chagas que me auxiliou na construção de meu conhecimento em Power BI e aos demais que diretamente ou indiretamente me auxiliaram na elaboração deste trabalho.

Se algum de vocês precisar de sabedoria, peça a nosso Deus generoso, e receberá. Ele não os repreenderá por pedirem.

Tiago 1:5 NVT

RESUMO

Este trabalho analisa a aplicação da indústria 4.0 diante do cenário industrial brasileiro. Tal abordagem se faz necessária visto que vivemos a quarta revolução industrial, revolução esta que contribui grandemente para o desenvolvimento da indústria. O objetivo do trabalho é demonstrar as tecnologias da indústria 4.0 e aplicar tais tecnologias a sistemas de lubrificação industrial demonstrando como está revolução traz benefícios a processos simples tornando estes mais eficientes. Este propósito será conseguido mediante pesquisa do cenário brasileiro de pesquisa e desenvolvimento, conhecimento e aplicação das tecnologias pelas indústrias e uma aplicação da indústria 4.0 dentro do setor de manutenção industrial, transformando um processo de lubrificação industrial preventivo em preditivo. A pesquisa demonstrou que o Brasil não possui investimentos em pesquisa e desenvolvimento e o conhecimento da indústria sobre tecnologia é baixo, porém é possível aplicar a indústria 4.0 a partir de baixo investimento a nível de hardware e software, sua aplicação em casos específicos pode trazer retornos significativos, como no caso estudado, a lubrificação industrial se torna eficiente a custos mínimos.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Manutenção Industrial. Lubrificação Industrial. IoT. Arduino.

ABSTRACT

This work analyzes the application of the 4.0 industry in front of the Brazilian industrial Scenario. Such an approach is necessary since we live the fourth industrial revolution, a revolution that contributes greatly to the development of the Industry. The objective of the work is to demonstrate the technologies of the 4.0 industry and to apply such technologies to industrial lubrication systems demonstrating how this revolution brings benefits to simple processes making these more efficient. This purpose will be achieved through research of the Brazilian research and development scenario, knowledge and application of technologies by the industries and an application of the 4.0 industry within the industrial maintenance sector, transforming a Preventive industrial lubrication Process in Predictive. Research has shown that Brazil does not have investments in research and development and the Industry's knowledge of technology is low, but it is possible to apply the 4.0 industry from low investment to hardware and software, its application in Specific cases can bring significant returns, as in the case studied, industrial lubrication becomes efficient at minimal costs.

Keywords: *Industry 4.0. Industrial Maintenance. Industrial Lubrication. IoT. Arduino.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Placa arduino nano	16
Figura 2 – Placa arduino uno r3.....	17
Figura 3 – Termopar tipo k.....	18
Figura 4 – Sensor de corrente não invasivo 100a sct-013	18
Figura 5 - Módulo relé 5v 2 canais.....	19
Figura 6 – Tela inicial da ferramenta power bi desktop	21
Figura 7 – Diagrama de rugosidade.....	30
Figura 8 – Diagrama de fricção entre duas superfícies	31
Figura 9 – Diagrama de lubrificação fluida.....	33
Figura 10 – Diagrama de lubrificação limite.....	33
Figura 11 – Diagrama de eficiência de lubrificação manual x automática	34
Figura 12 – Módulo de temperatura	37
Figura 13 – Módulo de corrente	38
Figura 14 – Diagrama de ligação dos módulos de forma independente.....	39
Figura 15 - Diagrama de ligação dos módulos de forma unificada.....	39
Figura 16 – Painel para o módulo de temperatura.....	40
Figura 17 - Painel para o módulo de corrente elétrica.....	41
Figura 18 – Sistema mecânico de teste.....	42
Figura 19 – Sistema de ensaio de carga.....	42
Figura 20 – Pontos de coleta de temperatura do sistema mecânico de teste	43
Figura 21 – Sistema lubrificado no ensaio 1	44
Figura 22 – Esfera após ensaio 1	45
Figura 23 – Sistema deslubrificado no ensaio 2	46
Figura 24 – Esfera após ensaio 2	46
Figura 25 – Esfera após ensaio 3	47
Figura 26 – Diagrama de ligação do módulo relé	50

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Custo Total de Manutenção por Faturamento Bruto.....	24
Gráfico 2 – Aplicações dos tipos de manutenção na indústria.....	26
Gráfico 3 – Utilização e Conhecimento de tecnologias da indústria 4.0 pelas empresas.....	27
Gráfico 4 – Coeficiente de Fricção X Temperatura	32
Gráfico 5 – Principais defeitos causas de defeitos em rolamentos.....	34
Gráfico 6 – Comparação da temperatura coletada nos ensaios proximo ao eixo.....	48
Gráfico 7 – Comparação da temperatura coletada nos ensaios na caixa de redução.....	49
Gráfico 8 – Comparação de corrente elétrica coletada nos ensaios	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação do Índice Global de Inovação de 2016.....	22
Quadro 2 – Classificação do Índice Global de Competividade da Manufatura de 2016.....	23
Quadro 3 – Classificação do Índice Global de Competividade da Manufatura projeção 2020	23
Quadro 4 – Lista de tecnologias apresentadas pela Confederação Nacional da Indústria	27
Quadro 5 – Percentual de empresas que utilizam pelo menos uma das tecnologias apresentadas pela pesquisa	28
Quadro 6 – Comparação dos desgastes causados pelos ensaios.....	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 INDÚSTRIA 4.0.....	14
2.1 Tecnologias da Indústria 4.0.....	15
2.1.1. Internet das coisas.....	15
2.1.2. Impressão 3D.....	19
2.1.3. Inteligência artificial.....	20
2.1.4. Big Data.....	20
2.2 A indústria brasileira mediante a indústria 4.0.....	21
3 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	24
4 LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL.....	29
4.1 Tribologia	29
4.2 Rugosidade	30
4.3 Fricção	31
4.4 Lubrificação Industrial	32
4.5 Sistemas Automáticos De Lubrificação	34
5 MÉTODOLOGIA.....	36
5.1 Módulos de análise	36
5.2 Software de análise	40
5.3 Sistema mecânico de teste	41
5.4 Método de ensaio	43
5.5 Ensaio 1.....	44
5.6 Ensaio 2.....	45
5.7 Ensaio 3.....	47
6 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	48
6.1 Aplicação Industrial	50
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
REFERÊNCIAS	52
ANEXO A – CÓDIGO ARDUINO TERMOPAR TIPO K.....	54
ANEXO B – CÓDIGO ARDUINO SESOR DE CORRENTE STC-013.....	55
ANEXO C – CÓDIGO PYTHON GRAVAÇÃO NO BANCO DE DADOS	56
ANEXO D – RESULTADOS ENSAIO 1	57
ANEXO E – RESULTADOS ENSAIO 2.....	58
ANEXO F – RESULTADOS ENSAIO 3.....	59

1 INTRODUÇÃO

As máquinas, os motores e todo e qualquer equipamento que realiza movimento, depende da perfeita lubrificação de suas peças para o seu correto funcionamento, com o decorrer de sua utilização a lubrificação se torna ineficaz, desta forma gerando a necessidade de lubrificar periodicamente os equipamentos. A lubrificação manual de equipamentos pode se tornar um desafio devido a quantidade de pontos a serem lubrificados, as dificuldades de acesso a estes pontos e a variedade de lubrificantes utilizados, associando estes fatores ao número de equipamentos dentro de uma fábrica o processo se torna lento, de difícil gestão e controle, além dos fatores apresentados, a maior dificuldade no processo manual é a correta execução da lubrificação, onde deve-se efetuar a dosagem correta do lubrificante aplicado. Devido aos vários pontos de falhas no processo manual se torna vantajoso a utilização de processos automatizados que permitem maior controle, gestão e eficiência da lubrificação dos equipamentos tornando-os mais confiáveis.

Com a utilização de sistemas automatizados surge um novo desafio: Determinar o momento exato de aplicar o fluido lubrificante. Atualmente o mercado especialista em sistemas automatizados de lubrificação disponibilizam equipamentos que efetuam a aplicação do fluido em determinado intervalo de tempo, o que não é o mais eficaz, visto que atualmente os sistemas automatizados de lubrificação efetuam o processo com base em tempo, estes podem se tornar ineficazes quando houver a necessidade de se lubrificar entre estes intervalos de tempo, desta forma é possível identificar o melhor momento de lubrificar um equipamento mecânico baseando-se nas condições físicas do mesmo. Visando a melhoria da eficácia deste processo e baseando-se nos parâmetros do equipamento é possível determinar o momento da real necessidade de efetuar a lubrificação, para isto será efetuado o desenvolvimento de módulos, estes que são um conjunto de hardware e software para coletar os parâmetros de operação dos sistemas mecânicos utilizando a plataforma *Arduino*[®] e conceitos da Internet das Coisas (IoT - *Internet of Things*). A partir da aplicação dos módulos será possível realizar o acompanhamento do sistema mecânico em tempo real e automaticamente ou manualmente efetuar a lubrificação destes no momento mais adequado.

O desenvolvimento do projeto será realizado através da pesquisa bibliográfica, apresentando a indústria 4.0 que proporciona soluções capazes de automatizar as coletas de parâmetros dos sistemas mecânicos e a gestão dos dados coletados e como o cenário brasileiro está mediante ao desenvolvimento de tecnologias para estes fins e suas aplicações, também como a indústria 4.0 pode ser largamente utilizada para manutenção preditiva pelos

departamentos de manutenção. Para a aplicação da indústria 4.0 a fim de otimizar os sistemas de lubrificação é necessário compreender os conceitos de tribologia, que é o estudo do atrito e desgaste causado pela interação entre sistemas mecânicos a fim de conhecer a importância da lubrificação para os equipamentos e como deve acontecer sua correta aplicação. Com os conceitos teóricos bem estabelecidos será desenvolvido módulos utilizando prototipagem e conceitos de IoT capaz de suprir tais limitações tornando o processo de lubrificação mais eficaz, com isso usufruir sempre da maior eficiência do equipamento e ainda prolongar a sua vida útil.

2 INDÚSTRIA 4.0

Durante a evolução a busca pelo conforto e sobrevivência da humanidade, fez ser necessário criar novos conceitos e revolucionar métodos, as revoluções industriais trouxeram uma expansão ao conforto humano, economia dos países e das indústrias, as três primeiras revoluções surgiram como resultado da mecanização, eletricidade e TI (Tecnologia da Informação). Vive-se atualmente um momento de transição na indústria, a busca por otimizar processos, impactar da menor forma o meio ambiente e girar a economia trouxeram uma nova era, a indústria 4.0 faz a união entre máquinas inteligentes, trabalho colaborativo e avançada análise computacional, trazendo para setores industriais eficiência operacional, nesta transformação sensores, máquinas, peças e sistemas de TI serão conectados dentro da indústria. (GERMAN ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING, 2013).

- a) 1ª Revolução Industrial 1780: Nascida da necessidade de um aumento da produção têxtil na Europa, a mecanização dos processos que antes eram efetuados manualmente se expandiu por todas as indústrias aumentando as exportações e desenvolvendo a economia europeia. (BRASIL, 2018);
- b) 2ª Revolução Industrial 1870: Com o progresso tecnológico as buscas por novas descobertas tecnológicas cresceram e deram início esta revolução, marcada pela implantação da indústria automobilística Ford, do empresário Henry Ford, nos Estados Unidos. (BRASIL, 2018);
- c) 3ª Revolução Industrial 1969: Com o advento da tecnologia de informação, foi possível iniciar a terceira revolução industrial em que a informatização (computadores mainframe, computadores pessoais e a internet) entram na fábrica para automatizar tarefas mecânicas e repetitivas. Isso começa a ocorrer a partir no século passado, a partir dos anos 70, existindo até hoje. (BRASIL, 2018);
- d) 4ª Revolução Industrial 2000: As três primeiras revoluções industriais surgiram como resultado da mecanização, eletricidade e TI, atualmente com a introdução da internet das coisas e serviços inteligentes no ambiente de produção está iniciando uma quarta revolução industrial, onde as empresas estabelecerão redes globais que incorporarão suas máquinas, sistemas de armazenamento e instalações de produção na forma de sistemas inteligentes e autônomos. No ambiente de fabricação, estes sistemas compreendem a máquinas inteligentes, sistemas avançados de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, acionando ações e controlando-se umas às outras de forma independente, o que facilita melhorias fundamentais nos processos industriais envolvidos na fabricação, engenharia, uso de material e cadeia de suprimentos e

gerenciamento do ciclo de vida. (GERMAN ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING, 2013).

2.1 Tecnologias da Indústria 4.0

A revolução da tecnologia da informação trouxe uma transformação radical do mundo em que vivemos e trabalhamos, com um impacto comparável ao da mecanização e da eletricidade nas primeiras e segundas revoluções industriais, a evolução dos computadores em dispositivos inteligentes tem sido acompanhada por uma tendência para mais e mais infraestrutura de tecnologia da informação e serviços a serem fornecidos através de redes inteligentes. A indústria 4.0 se caracteriza pela integração e controle da indústria com o auxílio de tecnologias, que juntas trazem a fusão do mundo real com o virtual trazendo para a indústria atual grandes possibilidades de automação de processos e máquinas. As principais tecnologias da indústria 4.0 são: Internet das coisas, Manufatura Aditiva, Inteligência artificial e Big Datas. Além de otimizar os processos baseando-se em computação, a indústria 4.0 irá proporcionar uma cooperação mais estreita entre parceiros de negócios, por exemplo, fornecedores e clientes e entre colaboradores, fornecendo novas oportunidades de benefícios mútuos. (GERMAN ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING, 2013).

2.1.1. Internet das coisas

Um aspecto da indústria 4.0 é a capacidade de monitorar e controlar todas as ferramentas de produção e usar os dados coletados para melhorar a produtividade e a qualidade nas indústrias, para isso muita tecnologia precisa ser aplicada, o que diretamente aumentou a busca por inovações que gerem estas melhorias, a internet das coisas é um conceito onde sensores e atuadores são conectados via rede a sistemas de computação, esses sistemas podem monitorar ou gerenciar a integridade e as ações de objetos e máquinas conectados (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2015).

Ao aplicar este conceito a indústria é possível otimizar as operações tornando os vários processos dentro da fábrica mais eficientes. Para o setor produtivo o uso de sensores, substituindo o julgamento humano, para o ajuste de máquinas, previne o erro humano, também o uso de dados das máquinas de produção auxilia o ajuste dos fluxos de trabalho. Já o setor de manutenção pode aplicar em larga escala a manutenção preditiva envolvendo o uso de sensores para monitorar máquinas continuamente evitando avarias e determinando quando a manutenção

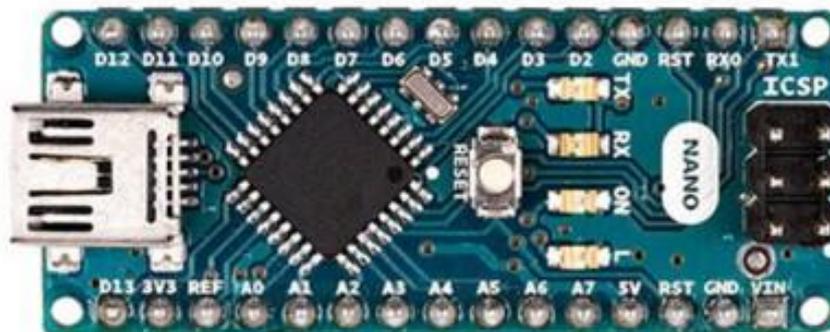
será necessária, desta forma não dependendo de rotinas regulares de manutenção. O estoque pode melhorar o gerenciamento de inventário reabastecendo automaticamente os locais de matéria prima baseando-se em dados de peso ou altura registrados pelos sensores. (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2015).

Para iniciar as aplicações deste conceito na indústria, algumas mudanças devem ser realizadas, máquinas precisarão ser atualizadas ou substituídas para acomodar sensores e atuadores, é necessário aprimorar a conectividade e gerar comunicação entre máquina e máquina preparando estas para transmitir grandes fluxos de dados. Também são necessárias melhorias na análise de dados e no custo da tecnologia básica, como sensores, sistemas eletromecânicos, bem como armazenamento de dados em servidores locais ou nuvem. Por fim é necessário avaliar questões de segurança e privacidade dos dados gerados. (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2015).

Uma das plataformas mais econômicas de se aplicar está tecnologia é a *Arduino*[®], esta plataforma tem como característica a sua facilidade em ser programada, utilizando a linguagem de programação C ou C++ e o baixo custo de seus componentes, através de um micro controlador em sua principal placa de processamento, ela é capaz de analisar entradas de dados, processa-las e transforma-las em saídas. Suas duas principais placas de processamento são: (ARDUINO, 2018).

a) *Arduino*[®] Nano: Uma versão reduzida da placa *Arduino*[®] Uno R3, esta placa possui um chip ATmega328P SMD (ver Figura 1) o que possibilita 14 pinos de entrada digital e 14 pinos de saída digital, 6 entradas analógicas, um conexão Mini USB e um botão de reset. (ARDUINO, 2018). Seu custo médio é de R\$ 35,90 segundo cotação do dia 17/09/18 segundo FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2018.

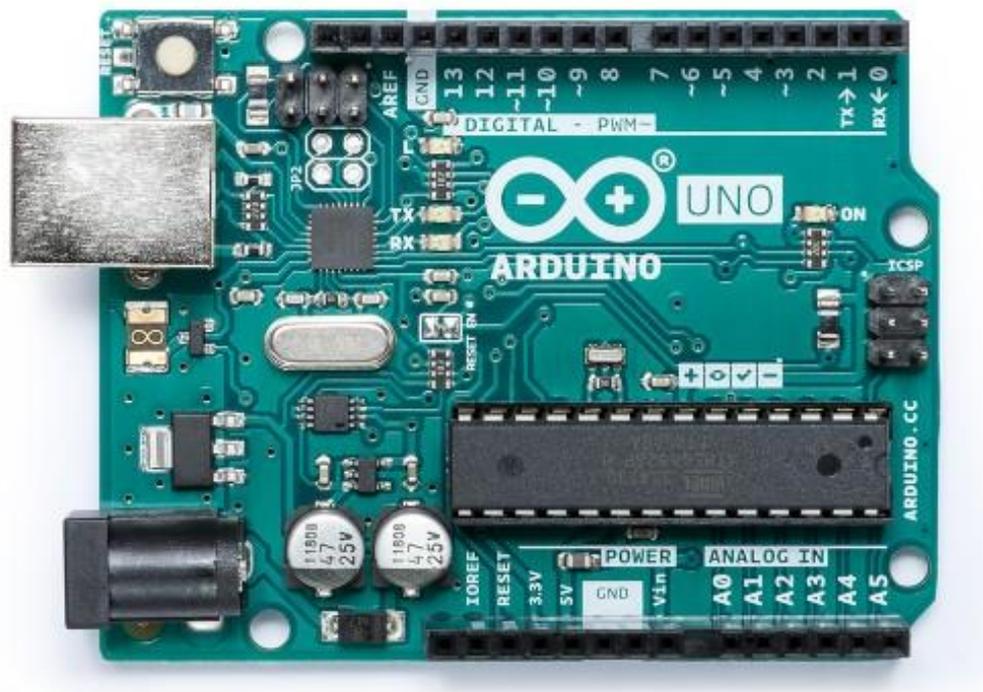
Figura 1 – Placa Arduino Nano



Fonte: Arduino (2018).

b) *Arduino*[®] Uno R3: *Arduino*[®] Uno é uma placa micro controladora baseada no chip ATmega328P (ver Figura 2), possui 14 pinos de entrada digital e 14 pinos de saída digital, 6 entradas analógicas, uma conexão USB, um conector de energia e um botão de reset. (ARDUINO, 2018). Seu custo médio é de R\$ 53,90 segundo cotação do dia 17/09/18 segundo FILIPEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS, 2018.

Figura 2 – Placa Arduino Uno R3



Fonte: Arduino (2018).

A plataforma *Arduino*[®] possibilita o acoplamento de sensores e controladores em suas placas de processamento, através de uma simples conexão, é possível criar conjuntos capazes de aferir grandezas físicas ou efetuar cálculos, alguns dos principais sensores utilizados na plataforma são:

a) Sensor de Temperatura: O principal sensor de temperatura utilizado na plataforma é o termopar tipo K (ver Figura 3), que consiste em duas pernas de diferentes metais. As pernas dos fios são soldadas juntas em uma extremidade, criando uma junção onde a temperatura é medida, quando a junção experimenta uma mudança na temperatura, uma voltagem é criada e sua tensão pode então ser interpretada usando tabelas de referência de termopar para calcular a temperatura. Seu custo médio é de R\$ 12,90 segundo cotação do dia 17/09/18 segundo Filipeflop Componentes Eletrônicos (2018);

Figura 3 – Termopar tipo K



Fonte: Filipeflop Componentes Eletrônicos (2018).

- b) Sensor de corrente elétrica não invasivo: Consiste em uma espécie de alicate (ver Figura 4) que através de um efeito magnético permite identificar e quantificar a corrente elétrica em um circuito elétrico, sem a necessidade de estar ligado em serie ao mesmo. Seu custo médio é de R\$ 48,90 segundo cotação do dia 17/09/18 segundo Filipeflop Componentes Eletrônicos (2018);

Figura 4 – Sensor de Corrente Não Invasivo 100A SCT-013

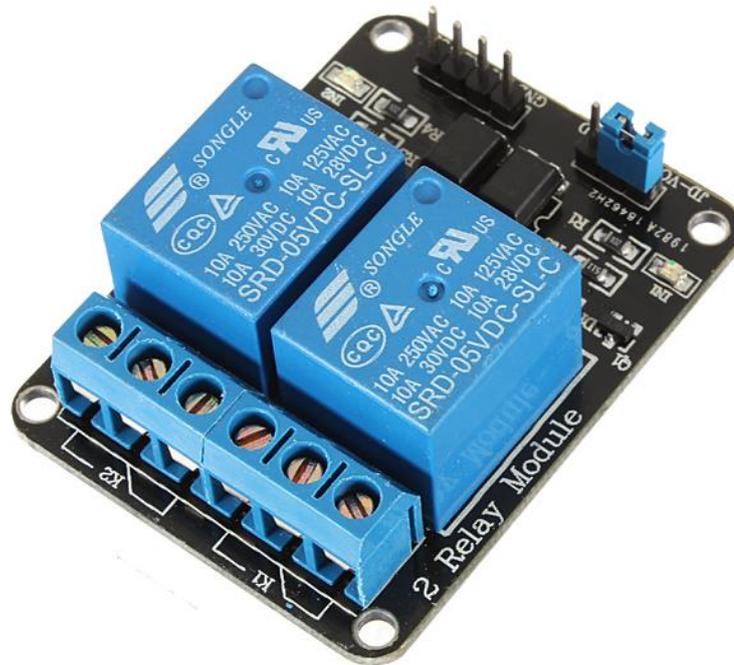


Fonte: Filipeflop Componentes Eletrônicos (2018).

- c) Relé Digital: O relé possui como finalidade funcionar como uma chave liga ou desliga de forma eletrônica (ver Figura 5), este consiste de um sistema eletromecânico onde através de

um eletroímã um sistema mecânico móvel é utilizado para fechar ou abrir contato em um circuito elétrico, através de uma placa *Arduino*[®] é possível efetuar o acionamento do eletroímã de um relé, transformando-o em um acionamento digital. Seu custo médio é de R\$ 12,90 segundo cotação do dia 17/09/18 segundo Filipeflop Componentes Eletrônicos (2018).

Figura 5 - Módulo Relé 5V 2 Canais



Fonte: Filipeflop Componentes Eletrônicos (2018).

2.1.2. Impressão 3D

Manufatura Aditiva ou Impressão 3D é uma tecnologia capaz de efetuar a adição de material através de uma impressora de forma automática e em eixos tridimensionais, desta forma é possível fabricar objetos através de um desenho 3D digital. Embora não ofereça uma economia durante seu processo de fabricação, está evita algumas desvantagens da produção padrão como a falta de flexibilidade. Como cada unidade é construída de forma independente, ela pode ser facilmente modificada para atender a necessidades exclusivas ou, de forma mais ampla, para acomodar melhorias ou mudanças, diminuindo também o tempo de setup de produção. Os compradores podem escolher entre infinitas combinações de formas, tamanhos e cores, e essa personalização adiciona pouco ao custo de um fabricante, mesmo quando os pedidos atingem níveis de produção em massa. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

2.1.3. Inteligência artificial

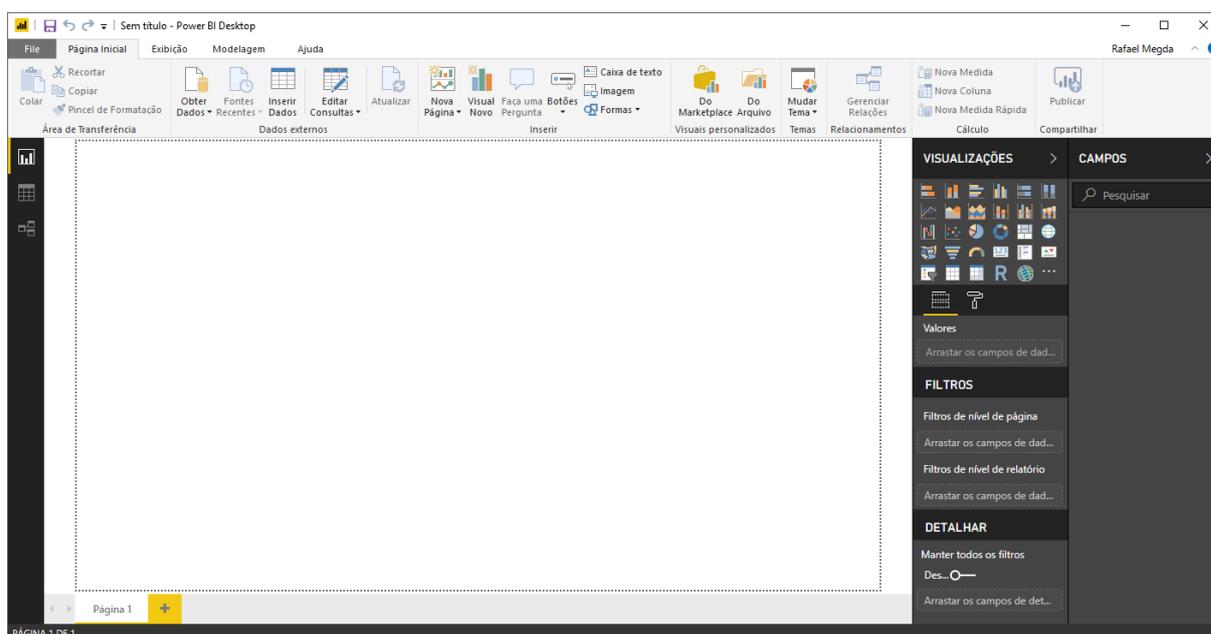
É um segmento da computação que tende de simular a capacidade humana de raciocinar, tomar decisões, resolver problemas, está simulação é inserida a softwares ou robôs que se tornam capazes de tomar decisões ou propor melhorias através de análise de dados. Análises avançadas feitas por ferramentas de inteligência artificial também são usadas para otimizar processos relacionados a eventos de manutenção não planejadas. Segundo o Mckinsey Global Institute, a General Electric recorreu à Kaggle, uma plataforma para modelagem preditiva e competições de análise, onde convidou cientistas de dados para projetar novos algoritmos de roteamento e aprendizado de máquina, responsáveis por planejamento de voo que otimizassem o consumo de combustível observando variáveis como padrões climáticos, vento e restrições do espaço aéreo, o algoritmo de roteamento vencedor mostrou uma melhoria de 12% na eficiência em relação aos dados de voo reais. (MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE, 2017).

2.1.4. Big Data

O termo *big data* pode ser definido como um conjunto de dados extremamente amplos e que, por este motivo, necessitam de ferramentas específicas para lidar com grandes volumes, de forma que toda informação nestes meios possa ser encontrada, analisada e transformada em valores, em tempo hábil. Nos dias atuais, as indústrias vêm gerando um volume bastante expressivo de dados e essa quantidade só cresce em volume e velocidade, tornando cada vez mais necessário o uso de técnicas especializadas para lidar com a situação, visando excelência no uso dos dados coletados ferramentas de análise avançadas se tornam fundamental para resolver problemas dessa natureza.

O *Power BI*[®] é um serviço baseado em nuvem que permite armazenar e compartilhar dados corporativos em forma de painéis e relatórios, para criar estes painéis, é necessário utilizar a ferramenta *Microsoft*[®] *Power BI Desktop*[®] (ver Figura 6) que é totalmente gratuito. Esta ferramenta pode ser utilizada para carregar, limpar e mesclar dados para que posteriormente possa ser desenvolvido métricas contábeis ou indicadores e demonstra-los de formas elegantes. Depois que suas tabelas, gráficos e mapas forem reunidos em um relatório, é possível compartilhá-los com um público-alvo selecionado ou em uma rede de contatos vinculados, estas pessoas podem ver suas informações em praticamente qualquer dispositivo *Microsoft Windows*[®], *iOS*[®] ou *Android*[®] usando os aplicativos gratuitos do *Power BI*[®] disponibilizados pela *Microsoft*[®] para essas plataformas. (ASPIN, 2016).

Figura 6 – Tela inicial da ferramenta Power BI Desktop



Fonte: O Autor.

Os dados podem ser carregados para o *Power BI*[®] através de diversas fontes como arquivos, pacotes de conteúdo ou banco de dados, um dos recursos que se destaca no *Power BI*[®] para sua utilização na indústria 4.0 é ser possível sua conexão com banco de dados, tornando-o uma poderosa ferramenta de Big Data, é possível conectar a ferramenta diretamente aos bancos de dados de modelo de tabela como o SQL[®], MySQL[®], Oracle[®], SAP[®] HANA, *Microsoft Access*[®], entre outros, através deste recurso é possível acompanhar e atualizar os dados em tempo real mesmo que estes dados sejam em grande volume. (ASPIN, 2016).

2.2 A indústria brasileira mediante a indústria 4.0

O Brasil ainda sofre com a crise nacional de 2015 e com o baixo investimento em pesquisa e desenvolvimento, fatores que ainda dificultam no desenvolvimento e a aplicação de tecnologia nas indústrias brasileiras, reflexo deste fator o Brasil em 2017 ocupava a 69^o posição no Índice Global de Inovação publicado pela universidade suíça Cornell SC Johnson College of Business. (UNIVERSITY CORNELL, 2017).

Passando para a América Latina e o Caribe, é preciso intensificar os esforços para que a região alcance todo o seu potencial de inovação. Chile, México e Brasil e alguns outros países da região são indiscutivelmente importantes agente de inovação. O México também contribui ativamente com as cadeias de valor globais, inclusive em setores de alta tecnologia. Destaca-se, no entanto, que existe um maior potencial para

amplas melhorias regionais no campo da inovação, tanto em termos do desempenho geral em inovação quanto de importantes áreas de inovação, como publicações científicas, P&D e depósitos de patentes. A título de exemplo, nos últimos anos, incluindo 2017, nenhuma economia dessa região foi identificada como realizadora em inovação – ou seja, nenhuma delas registrou desempenho em inovação acima do esperado em relação ao seu nível de desenvolvimento. Nesse sentido, a região enfrentou grandes desafios econômicos no último ano. Segundo previsões atuais, o Brasil está saindo lentamente de uma recessão econômica, embora o país ainda enfrente um alto grau de incerteza. Para estimular ainda mais essa retomada econômica e ajudar a região a avançar no campo da inovação, são necessários esforços contínuos no sentido de melhorar os investimentos em inovação e estabelecer sistemas de inovação mais bem coordenados. Além disso, é preciso ampliar a cooperação regional em P&D e inovação, que ainda é quase inexistente em comparação com outras regiões identificadas como bem-sucedidas na área da inovação pelo GII. (UNIVERSITY CORNELL, 2017 p. 24).

Os países latinos mais bem colocados foram o Chile (46°), seguido por Costa Rica (53°), México (58°), Panamá (63°), Colômbia (65°) e Uruguai (67°), nos primeiros lugares contam Suíça seguido por Suécia e Países Baixos, como observado no Quadro 1. (UNIVERSITY CORNELL, 2017).

Quadro 1 – Classificação do Índice Global de Inovação de 2016

Posição	País	Índice (100=Máximo)(10=Mínimo)
1	Suíça	67,69
2	Suécia	63,82
3	Países Baixos	63,36
4	Estados Unidos	61,40
5	Reino Unido	60,89
6	Dinamarca	58,70
7	Cingapura	58,69
8	Finlândia	58,49
9	Alemanha	58,39
10	Irlanda	58,13
69	Brasil	33,10

Fonte: Adaptado de University Cornell (2017).

Segundo o Quadro 2 a indústria brasileira ocupava em 2016 a 29ª posição no índice global de competitividade da manufatura publicado pela Deloitte, um centro de pesquisas industriais americano. (DELOITTE, 2016).

Quadro 2 - Classificação do Índice Global de Competividade da Manufatura de 2016

Posição	País	Índice (100=Máximo)(10=Mínimo)
1	China	100,0
2	Estados Unidos	99,5
3	Alemanha	93,9
4	Japão	80,4
5	Coreia do Sul	76,7
6	Reino Unido	75,8
7	Taiwan	72,9
8	México	69,5
9	Canadá	68,7
10	Singapura	68,4
29	Brasil	46,2

Fonte: Adaptado de Deloitte (2016).

Segundo projeção apresentada pela Deloitte em 2020 o Brasil deve ganhar 6 posições ocupando a 23ª posição na classificação como observado no Quadro 3, isso indica um crescimento da nossa manufatura e diretamente uma abertura para o crescimento da indústria 4.0 dentro do cenário nacional. (DELOITTE, 2016).

Quadro 3 – Classificação do Índice Global de Competividade da Manufatura projeção 2020

Posição	País	Índice (100=Máximo)(10=Mínimo)
1	Estados Unidos	100,0
2	China	93,5
3	Alemanha	90,8
4	Japão	78,0
5	Índia	77,5
6	Coreia do Sul	77,0
7	México	75,9
8	Reino Unido	73,8
9	Taiwan	72,1
10	Canadá	68,1
23	Brasil	52,9

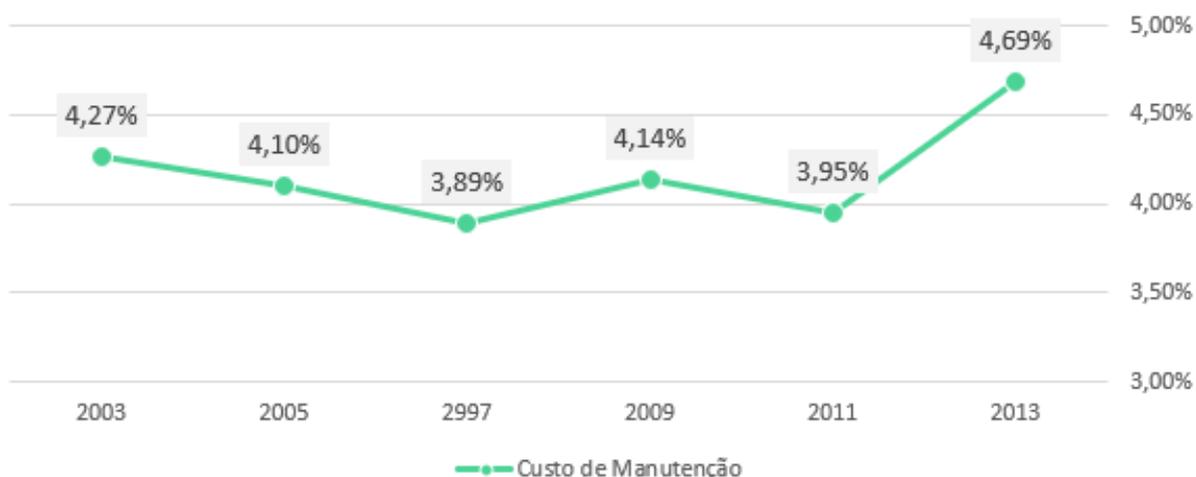
Fonte: Adaptado de Deloitte (2016).

3 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Na atual indústria um dos setores que pode ser muito beneficiados pela indústria 4.0 é o setor de manutenção industrial, responsável por manter toda a indústria em seu perfeito funcionamento e zelar por melhorias contínuas em seus processos. Com o aumento da automação industrial, reflexo da terceira revolução industrial, cada dia mais se tornou necessário mão de obra qualificada e especializada para manter e reparar maquinários de uma indústria, junto do grande volume de operações realizadas por estes profissionais, e o constante estudo da manutenção, nasceu a necessidade de se gerir da melhor forma maquinários e manutentores a fim de otimizar o setor e atender da melhor forma a indústria, buscando não somente reparar, mas também o aumento da disponibilidade, confiabilidade e vida útil dos equipamentos, tudo isso reduzindo os custos gastos com a manutenção.

Segundo a Confederação Nacional da Indústria (2016) estima-se que, até 2025, os processos relacionados à indústria 4.0 poderão reduzir os custos de manutenção de equipamentos entre 10% e 40% e reduzir o consumo de energia entre 10% e 20%. Segundo a Associação Brasileira De Manutenção E Gestão De Ativos (2013) os custos de manutenção no ano de 2013 representavam 4,69% do faturamento total de uma indústria, sendo o maior índice relatado nos últimos 10 anos como observado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Custo Total de Manutenção por Faturamento Bruto



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (2013).

Dos fatores que contribuem para o aumento do custo de manutenção estão ligados diretamente os tipos de manutenção aplicada, os três principais tipos de manutenção são:

Manutenção Corretiva: A manutenção corretiva é a atuação do manutentor sobre um equipamento que apresentou um defeito ou um desempenho fora do padrão, esta manutenção pode ocorrer de forma planejada ou não planejada, sendo a última indesejada pelo setor de manutenção, pois pode causar prejuízos graves a indústria.

A manutenção corretiva ocorre em duas situações específicas: quando o equipamento apresenta um desempenho abaixo do esperado, apontado pelo monitoramento, ou quando ocorre a falha do equipamento. Dessa forma, pode-se verificar que a principal função da manutenção corretiva é restaurar ou corrigir as condições de funcionamento de um determinado equipamento ou sistema. (NOGUEIRA; GUIMARÃES; SILVA, 2012 p. 177).

Manutenção Preventiva: Visando evitar falhas dos equipamentos de forma não planejada, a manutenção preventiva efetua o reparo do maquinário de forma controlada e estabelecida pelos seus fabricantes. Porém este tipo de manutenção eleva os custos do setor, pois o reparo é feito mesmo sem haver a real necessidade do mesmo.

Este tipo de manutenção é realizado em equipamentos que não estejam em falha, ou seja, estejam operando em perfeitas condições. Desta forma, podem-se ter duas situações bastante diferentes: a primeira é quando desativa o equipamento bem antes do necessário para fazer a manutenção do mesmo; a segunda situação é a falha do equipamento, por estimar o período de reparo do mesmo de maneira incorreta. Baseando-se nestas duas situações é importante ressaltar que, a definição do período de parada dos equipamentos seja efetuada por pessoas experientes, que conheçam bem o equipamento a ser mantido, seguindo as informações do fabricante e, principalmente, dependendo das condições climáticas em que estes se encontram, pois um mesmo equipamento pode se comportar de maneira bem distinta, conforme as condições climáticas que estiver submetido. (NOGUEIRA; GUIMARÃES; SILVA, 2012 p. 178).

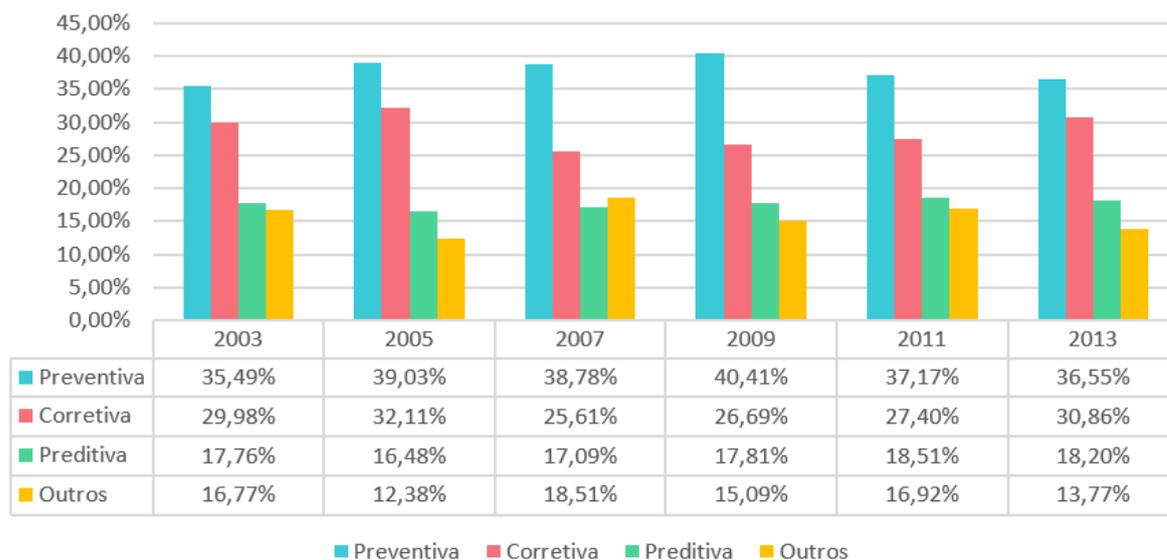
Manutenção Preditiva: Focada em analisar a condição do equipamento, este tipo de manutenção, visa a realização do reparo, a partir de análises realizadas sobre o equipamento, onde é possível identificar a real falha do mesmo e a necessidade do reparo.

Permite o acompanhamento do equipamento através de medições realizadas quando ele estiver em pleno funcionamento, o que possibilita uma maior disponibilidade, já que este vai sofrer intervenção, somente quando estiver próximo de um limite estabelecido previamente pela equipe de manutenção. Pode-se dizer que a manutenção preditiva prediz a falha do equipamento e quando se resolve fazer a intervenção para o reparo do mesmo, o que acontece, é na verdade uma manutenção corretiva programada. (NOGUEIRA; GUIMARÃES; SILVA, 2012 p. 178).

Destes a manutenção preditiva contribui diretamente para a diminuição dos custos de manutenção, teve um aumento pouco significativo em relação aos demais tipos de manutenção, é possível observar através do Gráfico 2, que nos últimos anos o percentual de manutenção

preditiva está entre 16% e 19% em relação ao demais tipos de manutenção aplicadas nas indústrias brasileiras. Este é um dos maiores desafios hoje da manutenção aplicar dentro da indústria a manutenção preditiva em maior escala.

Gráfico 2 – Aplicações dos tipos de manutenção na indústria



Fonte: Adaptado de Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (2013).

Estes baixos índices são reflexo do baixo investimento e conhecimento sobre tecnologias digitais que a indústria brasileira sofre, um estudo apresentado pela Confederação Nacional da Indústria (2016) que foi realizado com 2.225 empresas, sendo 910 pequenas, 815 médias e 500 grandes, de 29 setores da indústria de transformação e extrativa, teve como objetivo quantificar a importância e conhecimento sobre 10 tecnologias da indústria 4.0 a lista apresentada pode ser vista no Quadro 4. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

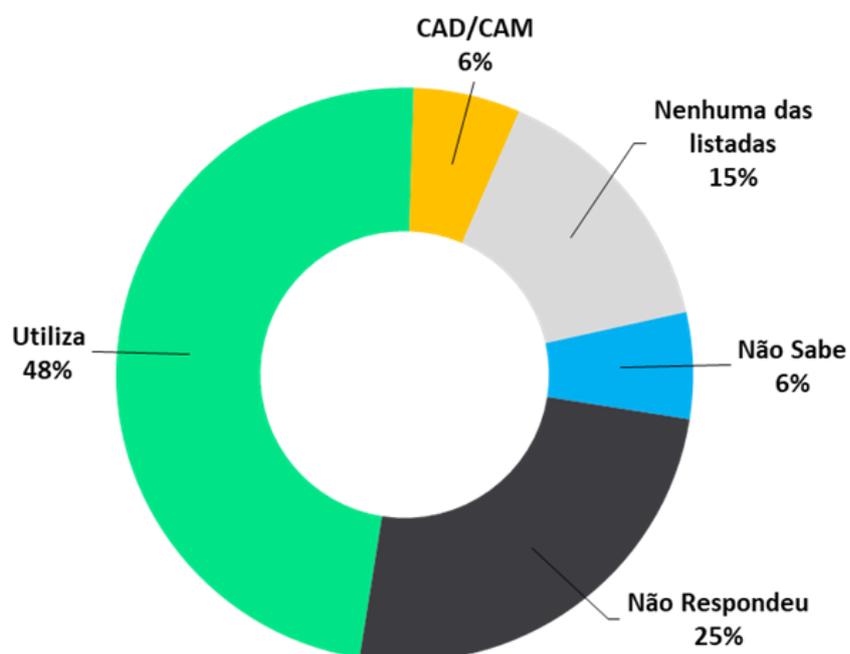
O estudo concluiu que 42% das empresas desconhecem a importância das tecnologias digitais para a competitividade da indústria e 52% delas não utilizam nenhuma tecnologia digital (ver Gráfico 3), também destacou que 57% do desconhecimento era por pequenas empresas. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

Quadro 4 – Lista de tecnologias apresentadas pela Confederação Nacional da Indústria

LISTA DE TECNOLOGIAS DIGITAIS	USO	IMPORTÂNCIA
Automação digital sem sensores	11	3
Automação digital com sensores para controle de processo	27	20
Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA	7	14
Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	8	21
Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos	19	25
Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D	5	9
Simulações/análise de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento	5	5
Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	9	15
Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	6	11
Incorporação de serviços digitais nos produtos ("Internet das Coisas" ou Product Service Systems)	4	12
Projetos de manufatura por computador CAD/CAM (2) (3)	30	9
Nenhuma das listadas	15	3
Não sabe/ não respondeu	31	39

Fonte: Confederação Nacional da Indústria (2016).

Gráfico 3 – Utilização e Conhecimento de tecnologias da indústria 4.0 pelas empresas



Fonte: Adaptado de Confederação Nacional da Indústria (2016).

A Confederação Nacional da Indústria apresentou o estudo dividido em setores onde o setor de manutenção é um dos setores que menos utilizam tecnologias digitais dentro das indústrias, onde 25% do setor de manutenção utilizam tecnologias digitais, como visto no Quadro 5. (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA, 2016).

Quadro 5 – Percentual de empresas que utilizam pelo menos uma das tecnologias apresentadas pela pesquisa

	SETOR	%
Que mais usa	Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e outros	61
	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	60
	Coque, derivados do petróleo e biocombustíveis	53
	Máquinas e equipamentos	53
	Metalurgia	51
Que menos usa	Outros equipamentos de transporte	23
	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	25
	Produtos farmacêuticos	27
	Minerais não metálicos	28
	Vestuário	29
	Calçados	29

Fonte: Confederação Nacional da Indústria (2016).

Com a aplicação da indústria 4.0 neste setor é possível através de suas tecnologias desenvolver e aprimorar a coleta de dados dos maquinários, aumentar o processamento destes e possuir acompanhamentos em tempo real a fim de tomar a melhor solução para o problema, com o menor tempo de parada possível.

4 LUBRIFICAÇÃO INDUSTRIAL

A lubrificação industrial é uma atividade de extrema importância para o setor de manutenção industrial, responsável por manter as superfícies dos equipamentos em perfeito funcionamento inibindo os desgastes provenientes da rugosidade das superfícies que geram o atrito, o que é indesejável para o perfeito funcionamento dos maquinários e conseqüentemente para a indústria, uma vez que o desgaste é um prejuízo. O estudo e sua correta aplicação são importantes para que a lubrificação seja eficaz e apropriada para cada equipamento, a Tribologia é um estudo onde busca entender a interação das superfícies e definir o melhor método de lubrificação. Segundo Svenska Kullager Fabriken (2014 p. 3) “metade de todas as falhas de rolamento é causada por problemas de lubrificação, seja como resultado de má lubrificação, tipo errado de lubrificante ou contaminação do lubrificante pelo ar, água, sujeira ou partículas.”

4.1 Tribologia

A tribologia é o estudo do atrito e desgaste causado pela interação entre sistemas mecânicos, casos onde não existe interação entre as superfícies são raros, o que torna o estudo da tribologia essencial para o desenvolvimento de novas tecnologias, um método chave para diminuir o atrito e conseqüentemente o desgaste é lubrificar o sistema. (DUARTE JUNIOR, 2005).

A palavra "tribologia" (do grego: τριβος = fricção ou atrito) foi primeiro cunhada em 1966 por um comitê do governo do Reino Unido, embora fricção, lubrificação e desgaste tenham sido estudados por muitos anos antes e tenham uma longa e fascinante história. Esse comitê também fez uma estimativa das economias que poderiam ser feitas pela indústria do Reino Unido se os princípios tribológicos conhecidos fossem amplamente aplicados. (HUTCHINGS, 2017 p. 15)

Em muitos mecanismos, o movimento relativo entre superfícies é inevitável. Esse movimento, aliado a cargas atuando sobre o sistema e irregularidades nas superfícies em questão, resulta na aparição de uma força resistiva denominada atrito. Em alguns casos, é preferível que essa força seja de menor magnitude possível. Isso porque, em se tratando de maquinários em geral (máquinas fabris, motores de combustão interna, etc.), a redução de atrito implica em menores gastos de energia para movimentação das peças (ou seja, menos perdas mecânicas) e, conseqüentemente, maior eficiência. Em se falando de dobradiças de portas ou

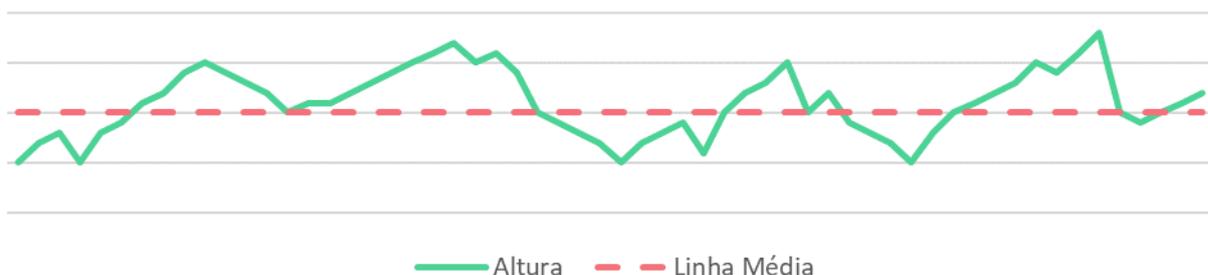
próteses artificiais, menor atrito significa menor esforço e maior comodidade para o usuário (HUTCHINGS, 1992).

A atuação da força de atrito sobre essas superfícies também causa o desgaste das mesmas. Devido a esse desgaste, propriedades geométricas do mecanismo (como, por exemplo, folgas e rugosidades) são alteradas e isso pode comprometer a eficiência da máquina em questão. Tomando-se como exemplo casos em que superfícies têm a função de isolar ambientes, como no interior de uma câmara de combustão, o aumento de folgas propicia a movimentação de gases entre esses ambientes. Logo, a função de selo não está sendo cumprida e isso significa que a máquina não está funcionando da maneira que deveria. Outro efeito do desgaste é a perda progressiva de material. O material despreendido, geralmente em forma de detritos, pode causar quebras ou travamento de engrenagens, eixos e outras partes móveis. As superfícies danificadas pela remoção de material, também sofrem aumento na rugosidade. Esse aumento causa maiores forças resistivas, que por sua vez geram maiores perdas mecânicas (por exemplo, geração de calor, ruído e vibração) e essas perdas resultam em um funcionamento com menor eficiência (HUTCHINGS, 1992).

4.2 Rugosidade

Rugosidade é uma medida da variação das irregularidades de uma peça, toda superfície possui rugosidade até mesmo a mais suave possível possui algumas irregularidades a níveis atômicos ou moleculares. A forma mais comum de referência à rugosidade de uma superfície é através da rugosidade média. Esta grandeza é definida como sendo a média aritmética do desvio de altura da superfície a partir de uma linha média através do perfil. A linha média é definida de forma que áreas iguais do perfil ficam acima e abaixo desta como visto na Figura 7. (HUTCHINGS, 2017)

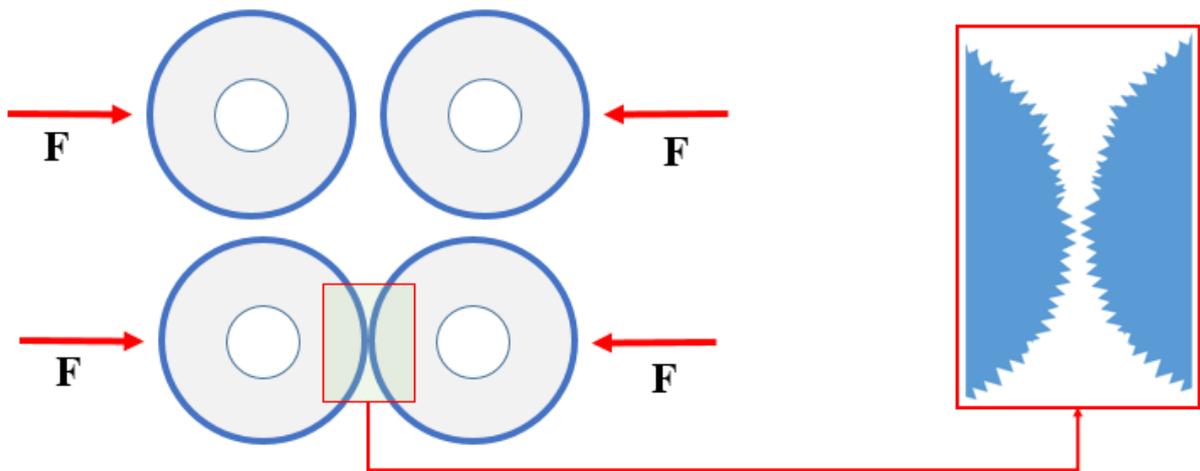
Figura 7 – Diagrama de rugosidade



4.3 Fricção

Quando duas superfícies, são forçadas uma contra a outra por uma carga, o contato inicial é feito em alguns pontos, devido a sua rugosidade, à medida que aumenta a carga em cada peça o número de contatos aumenta e é gerado uma força de fricção entre as superfícies, o diagrama pode ser visto na Figura 8. (HUTCHINGS, 2017).

Figura 8 – Diagrama de Fricção entre duas superfícies



Fonte: O Autor.

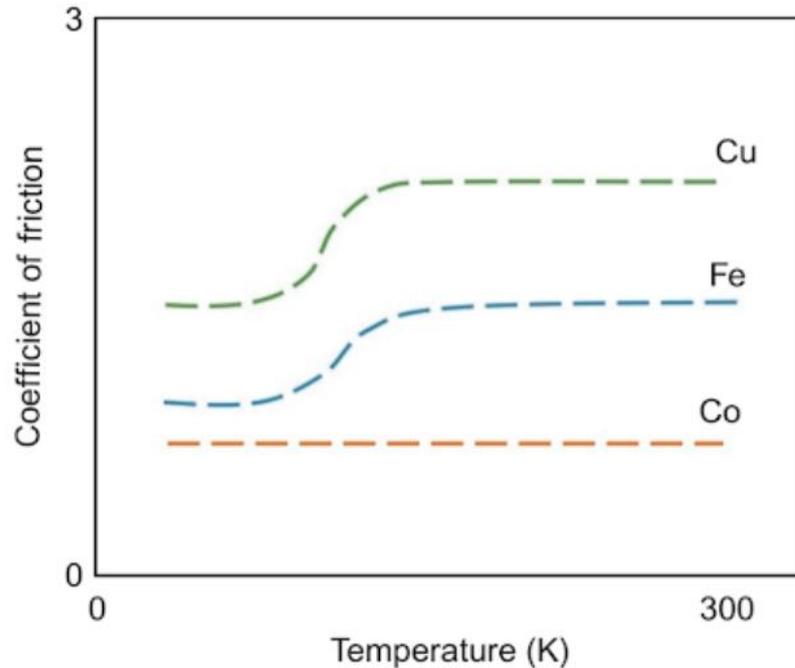
O mesmo ocorre quando uma superfície movimenta uma sobre a outra, esta fricção gerada entre as superfícies causa uma resistência ao movimento e conseqüentemente ao forçar o movimento nestas condições causa o desgaste das superfícies. (HUTCHINGS, 2017).

Esta definição ampla engloba duas classes importantes de movimento relativo: deslizamento e rolamento. A distinção entre fricção deslizante e rolando é útil, mas as duas não são mutuamente exclusivas e, mesmo aparentemente, a roda "pura" quase sempre envolve algum deslizamento. Tanto no rolamento ideal como no deslizamento, a força tangencial F é necessária para mover a parte superior do corpo sobre a superfície frontal estacionária. A relação entre esta força de fricção e a carga normal W é conhecida como o coeficiente de atrito, e geralmente é indicada pelo símbolo μ . (HUTCHINGS, 2017 p. 50).

Quando a temperatura de um metal deslizante é aumentada, vários efeitos podem ocorrer, suas propriedades mecânicas mudam, a taxa de oxidação e outras reações químicas na superfície aumentam, todos estes fatores irão influenciar no comportamento da fricção. Segundo testes realizados no vácuo por Hutchings (2017 p. 54) a variação de atrito é amplamente determinado pela ductilidade do metal que varia de acordo com a temperatura, nos

testes realizados a influência de filmes interfaciais foi deliberadamente excluída por meio da sua realização no vácuo, pode ser observado no Gráfico 4 que, em geral, à medida que a ductilidade de um metal aumenta, também aumenta o valor de atrito.

Gráfico 4 – Coeficiente de Fricção X Temperatura



Fonte: Hutchings (2017).

4.4 Lubrificação Industrial

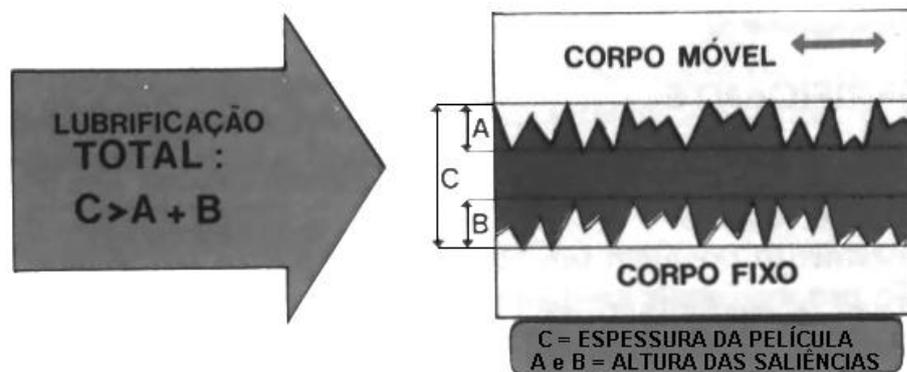
Para que duas superfícies se movimentem uma sobre a outra sem sofrer com os desgastes provenientes da fricção é necessário que não exista um contato direto entre elas, logo é aplicado um fluido com a função de criar uma película que fique entre ambas as superfícies e que não permita o contato, desta forma as superfícies movimentam e não sofrem os desgastes. (DUARTE JUNIOR, 2005).

Para que haja formação de película lubrificante, é necessário que o fluido apresente adesividade, para aderir às superfícies e ser arrastada por elas durante o movimento, e coesividade, para que não haja rompimento da película. A propriedade que reúne a adesividade e a coesividade de um fluido é denominada oleosidade. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDÚSTRIAL, 1997 p. 13).

A forma como a película lubrificante se comporta ao ser aplicada é classificada em três formas total ou fluida, limite:

- a) Lubrificação total ou fluida: Neste tipo de lubrificação, a película lubrificante separa totalmente as superfícies, não havendo contato direto entre elas, isto é, a película possui espessura superior à soma das alturas das rugosidades das superfícies. Serão resultantes, assim, valores de atrito baixos e desgaste insignificantes, ver Figura 9. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDÚSTRIAL, 1997).

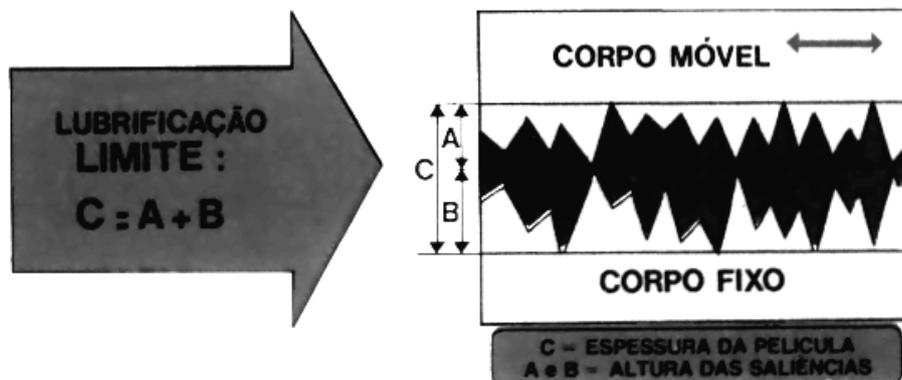
Figura 9 – Diagrama de Lubrificação Fluida



Fonte: Serviço Nacional De Aprendizagem Industrial (1997).

- b) Lubrificação Limite: Neste tipo de lubrificação a película lubrificante permite parcialmente o contato entre as superfícies, sua espessura é igual à soma das alturas das rugosidades das superfícies. Nos casos em que existe cargas elevadas, baixas velocidades ou operações intermitentes que impeçam a formação de uma película fluida, é conveniente empregar um lubrificante com aditivos ou anti-desgaste, onde as condições são muito severas, estes aditivos perdem a eficiência, devem ser empregados aditivos de extrema pressão, ver Figura 10. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDÚSTRIAL, 1997).

Figura 10 – Diagrama de lubrificação limite

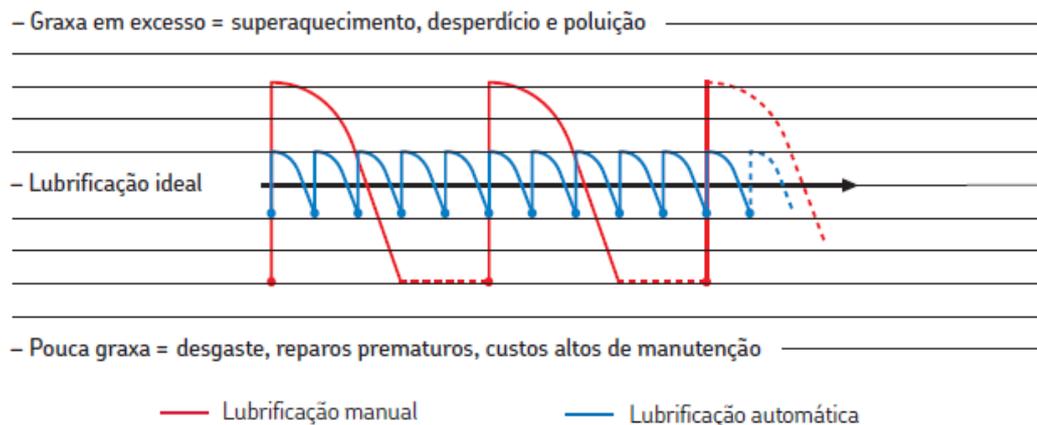


Fonte: Serviço Nacional De Aprendizagem Industrial (1997).

4.5 Sistemas Automáticos De Lubrificação

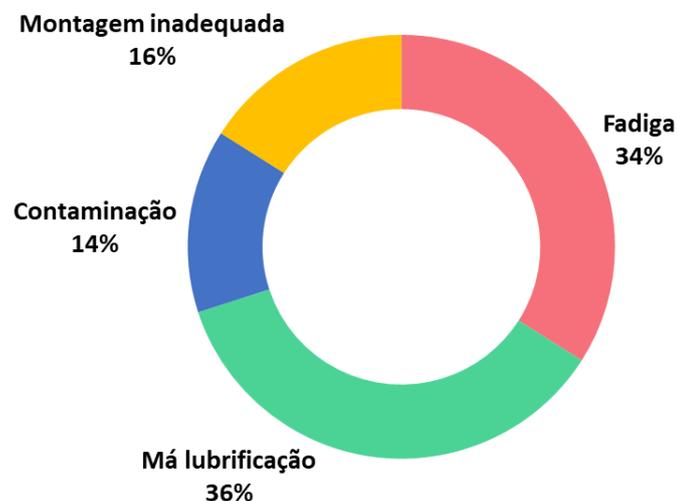
A lubrificação manual de equipamentos pode se tornar um desafio devido a quantidade de pontos a serem lubrificados, as dificuldades de acesso a estes pontos e a variedade de lubrificantes utilizados, associando estes fatores ao número de equipamentos dentro de uma indústria o processo se torna lento, de difícil gestão e controle, além dos fatores apresentados, a maior dificuldade no processo manual é a correta execução da lubrificação, onde deve-se efetuar a dosagem correta do lubrificante aplicado, como visto na Figura 11, um exemplo pode ser observado no Gráfico 5 onde, em rolamentos 36% das falhas ocorrem por má lubrificação. (SVENSKA KULLAGER FABRIKEN, 2017).

Figura 11 – Diagrama de eficiência de lubrificação manual x automática



Fonte: Adaptado de Svenska Kullager Fabriken (2017).

Gráfico 5 – Principais defeitos causas de defeitos em rolamentos



Fonte: Adaptado de Svenska Kullager Fabriken (2017).

Devido aos vários aspectos de falhas no processo manual se torna vantajoso a utilização de processos automatizados, que permitem maior controle, gestão e eficiência da lubrificação dos equipamentos tornando-os mais confiáveis, Segundo Svenska Kullager Fabriken (2017 p. 2) utilizar lubrificadores automáticos é uma solução que pode melhorar a segurança do trabalhador e aumentar a confiabilidade da máquina.

Aproximadamente 36% das falhas prematuras de rolamentos ocorrem devido a lubrificação inadequada, como o excesso, a falta ou o tipo incorreto de lubrificante. Em 14% dos casos, as falhas de rolamentos ocorrem em função de contaminação através de vedações ou práticas de manuseio de lubrificante inadequadas. (SVENSKA KULLAGER FABRIKEN, 2017 p. 4).

Diante da necessidade de se lubrificar corretamente os sistemas e as vantagens dos sistemas automatizados a lubrificação industrial se torna um grande campo para a aplicação da indústria 4.0 visto que os sistemas automatizados são sistemas preventivos de manutenção e não sistemas preditivos, logo a aplicação das tecnologias da quarta revolução industrial podem suprir esta necessidade e tornar os sistemas de lubrificação preditivos, assim indicando o melhor momento de se efetuar a liberação do fluido lubrificante e o acompanhamento das condições das superfícies lubrificadas.

5 MÉTODOLOGIA

Ao aplicar a indústria 4.0 com a finalidade de melhorar os processos de lubrificação efetuada por departamentos de manutenção, foi desenvolvido um conjunto de hardware e software a fim de possibilitar o acompanhamento e identificação de parâmetros pertinentes e relacionados a falta ou má lubrificação de sistemas mecânicos. Um protótipo foi desenvolvido para efetuar a medição de duas grandezas físicas, a temperatura que deve ser coletada em dois pontos do sistema mecânico e a corrente elétrica do equipamento elétrico responsável por acionar o sistema. As principais características do protótipo se dão pelo baixo custo de desenvolvimento e montagem, para isso foi optado pela utilização da plataforma de prototipagem *Arduino*[®] abordada na sessão 2.1.1 que possui componentes e sensores de custos acessíveis e fácil desenvolvimento e também a ferramenta de *big data Microsoft*[®] *Power BI*[®] *Desktop*, que é gratuita.

5.1 Módulos de análise

Como abordado no sessão 4.3 o aumento do atrito interfere diretamente na temperatura de um material, desta forma com a ausência de lubrificantes um sistema mecânico irá aumentar o atrito entre seus componentes e diretamente aumentara a temperatura no sistema, deste principio se torna possível identificar através da coleta de temperatura do sistema que, ao ocorrer uma variação na temperatura de operação, o mesmo pode estar sofrendo com um atrito maior que o normal, isto ocasionado por falta ou má lubrificação. Para que está análise seja mais eficaz, se faz necessário efetuar a coleta em dois pontos do sistema, a fim de que a leitura no primeiro ponto possa validar a leitura no segundo ponto.

Com o aumento do atrito em um sistema mecânico aumenta diretamente a potência necessário para que o mesmo opere, segundo Melconian (2009, p. 334), a potência de atrito em watt (W) é dada pela resultante da multiplicação entre o coeficiente de atrito (μ) a força em newton (N) e a velocidade em metros por segundo (m/s).

$$Pat = \mu \cdot F \cdot v \quad (1)$$

Logo, quanto maior for o coeficiente de atrito (μ) na equação 1 maior será a potência para que o sistema opere, ao utilizar motores elétricos para operar o mesmo, é possível analisar o aumento do atrito através do consumo de corrente elétrica do motor, isto pode ser observado

pela equação 2:

$$i = \frac{P}{U} \quad (2)$$

Onde, a corrente elétrica em ampere (A) é dada pelo resultado da divisão da potência em watt (W) pela tensão elétrica em volt (V), concluindo que, quanto maior for a potência maior será a corrente elétrica, logo, quanto maior o coeficiente de atrito do sistema, maior será a corrente elétrica consumida pelo motor elétrico.

Ao coletar e analisar estes três parâmetros, temperatura em dois pontos e corrente elétrica é possível identificar momentos em que ambos variam com relação a seu padrão de operação, concluindo que um aumento de atrito no sistema mecânico possa ter ocorrido, sendo necessário verificar a lubrificação do sistema.

Para a coleta destes parâmetros foi desenvolvido dois conjuntos de sensores e centrais de processamento a fim de criar módulos de fácil manuseio e aplicação na indústria, os módulos são constituídos de plástico antichamas que possibilita maior segurança aos sensores e aos equipamentos mecânicos. O primeiro módulo é o módulo de temperatura (ver Figura 12), que consiste de uma placa *Arduino*® Nano ligada a uma conexão fêmea onde é conectado o sensor de temperatura termopar tipo K abordado na sessão 2.1.1.

Figura 12 – Módulo de Temperatura



Fonte: O Autor.

Este módulo foi construído duas unidades, devido a necessidade da medição da temperatura em dois pontos do sistema mecânico, seu código pode ser observado no Anexo A. Os valores coletados pelos módulos de temperatura foram validados e calibrados utilizando um termômetro de contato modelo TMDT 2-30 da marca SKF®. O segundo módulo é o módulo de corrente (ver Figura 13), que consiste de uma placa *Arduino*® Nano ligada a uma conexão fêmea onde é conectado o sensor de corrente não invasivo abordado na sessão 2.1.1, seu código pode ser observado no Anexo B. Os valores coletados pelo módulo de corrente foram validados e calibrados utilizando um alicate amperímetro modelo 302+ da marca Fluke®. Conforme abordado na sessão 2.1.1 o custo do hardware do protótipo foi de R\$ 58,80 para cada módulo de temperatura e R\$ 94,90 para o módulo de corrente, cada módulo utilizando um cabo USB® (*Universal Serial Bus*) de 1,8 metros com o custo médio de R\$ 10,0 totalizando R\$ 212,50 em hardware.

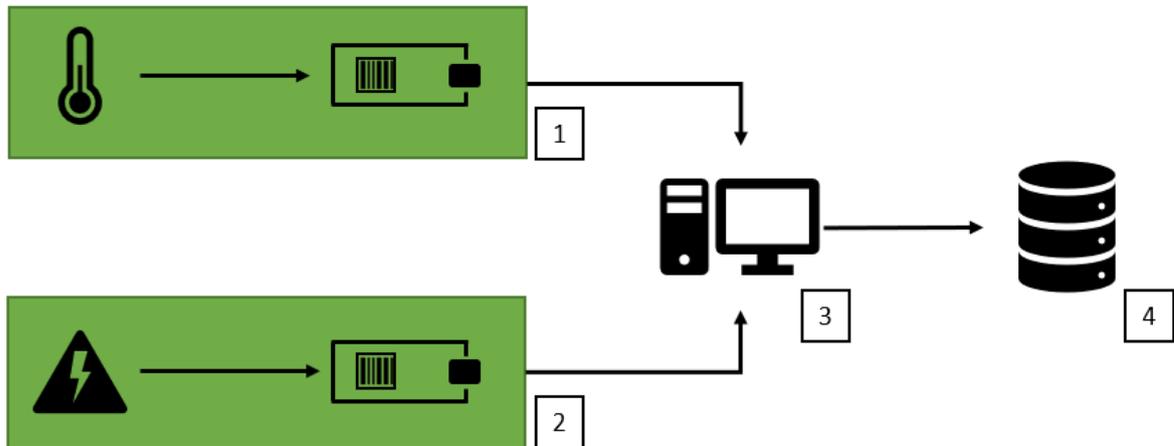
Figura 13 – Módulo de Corrente



Fonte: O Autor.

De forma a tornar mais prática a manutenção do hardware e mais veloz o processamento do software foi utilizada uma placa *Arduino*® Nano acoplada a cada sensor utilizado (ver Figura 14 itens 1 e 2), desta forma cada sensor efetua a leitura dos dados e encaminha ao servidor (ver Figura 14 item 3) e em seguida ao banco de dados (ver Figura 14 item 4 e Figura 15 item 3) de forma independente.

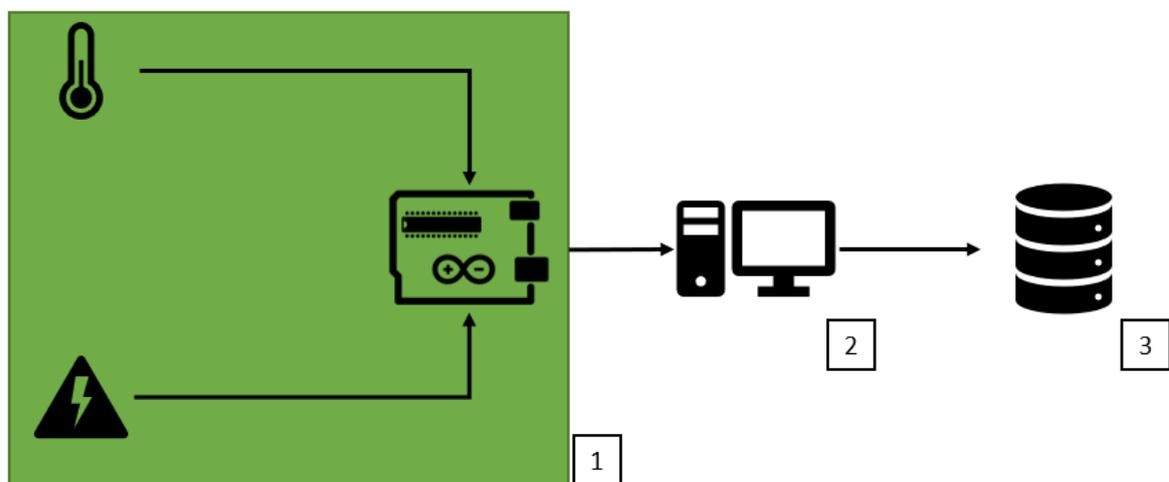
Figura 14 – Diagrama de ligação dos módulos de forma independente



Fonte: O Autor.

Esse fator aumenta o custo do protótipo em R\$ 89,90 com relação a utilização de uma placa *Arduino*[®] Uno R3 segundo dados observados na sessão 2.1.1, este custo se justifica visto que ao utilizar esta placa todos os três sensores seriam ligados a uma única placa tornando a sua manutenção mais complexa devido a conexões entre placa e sensores serem realizadas por solda (ver Figura 15, item 1), outro fator é o aumento do processamento dos dados, visto que esta única placa irá processar dados dos três sensores ao mesmo tempo, a forma de conexão com o computador também dificulta a manutenção do sistema de análise, em casos onde existe a necessidade de ser substituído somente um dos sensores seria necessário interromper a leitura de todos os demais sensores conectados ao servidor (ver Figura 15, item 2).

Figura 15 - Diagrama de ligação dos módulos de forma unificada



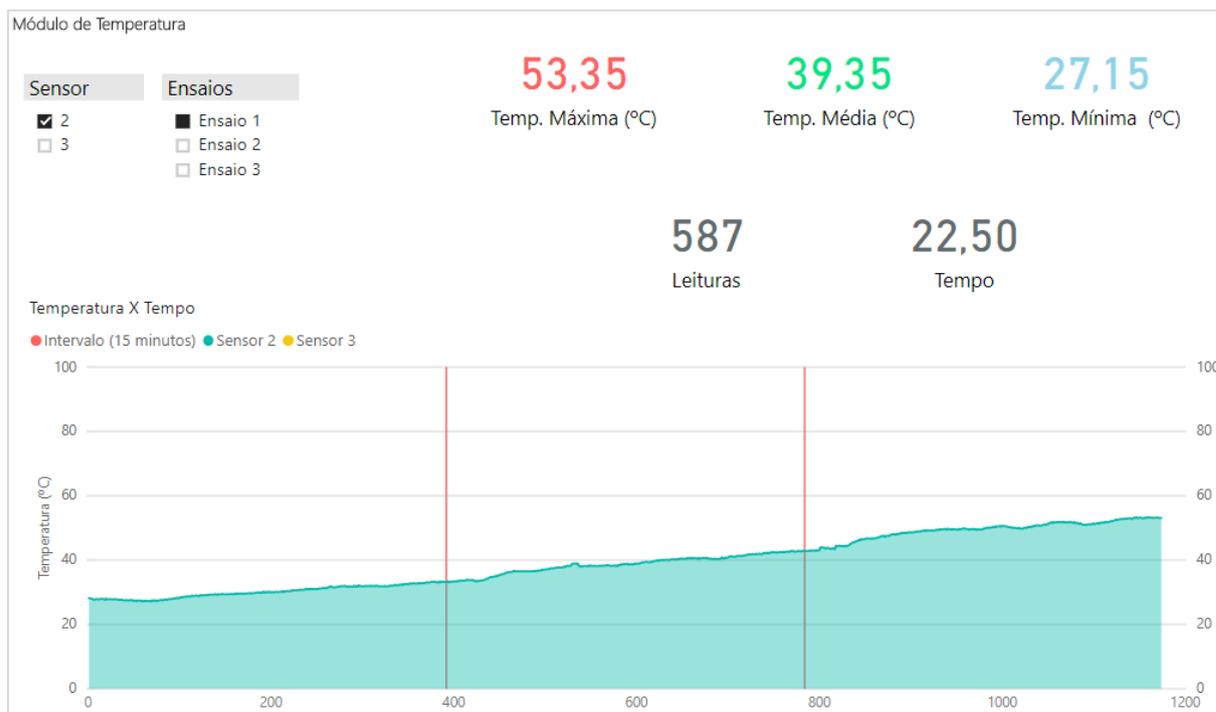
Fonte: O Autor.

5.2 Software de análise

A comunicação entre os módulos e o computador é efetuada via cabo USB[®] e interpretada no servidor por um código em linguagem *Python*[®] que efetua a leitura dos dados recebidos na porta USB[®] e em seguida efetua a gravação dos dados em um banco de dados *Maria DB*[®], este código pode ser observado no Anexo C.

Utilizando o conceito de *big data* apresentado na sessão 2.1.4 os dados gravados no banco de dados são lidos e tratados utilizando a ferramenta *Microsoft Power BI*[®], que permite acompanhar através de gráficos e indicadores as leituras realizadas pelos três módulos, também possibilita criar alertas para situações de risco. Nesta ferramenta foi desenvolvido três painéis de acompanhamento para a exibição das informações coletadas pelos módulos, também foram desenvolvidas algumas medidas para referência da análise. Para o módulo de temperatura foi desenvolvido separadamente dois painéis (ver Figura 16) possuindo um gráfico indicando a temperatura aferida em relação ao horário em que a leitura foi realizada, um indicador constando a quantidade de leituras realizadas pelo módulo e três indicadores demonstrando o valor máximo, médio e mínimo da temperatura. todos os valores indicados estão utilizando graus célsius como unidade de medida.

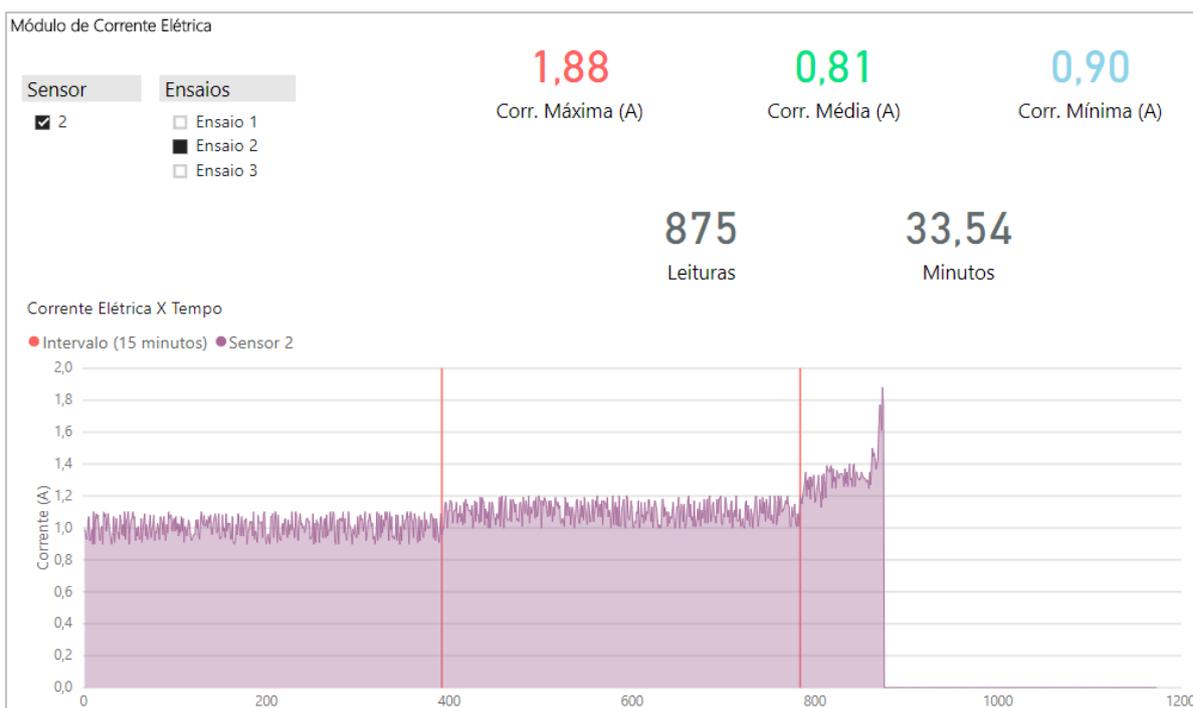
Figura 16 – Painel para o módulo de temperatura



Fonte: O Autor.

Para o módulo de corrente elétrica foi desenvolvido um painel (ver Figura 17) possuindo um gráfico indicando a corrente elétrica aferida em relação ao horário em que a leitura foi realizada, um indicador constando a quantidade de leituras realizadas pelo módulo e três indicadores demonstrando o valor máximo, médio e mínimo de corrente elétrica registrado, todos os valores indicados estão utilizando ampere como unidade de medida.

Figura 17 - Painel para o módulo de corrente elétrica



Fonte: O Autor.

5.3 Sistema mecânico de teste

Com a finalidade de comprovar a eficácia dos módulos desenvolvidos foram realizados testes em laboratório onde estes e o conceito teórico foram testados, os resultados foram validados com equipamentos industriais de monitoramento. Os testes foram realizados com o auxílio de um sistema mecânico desenvolvido com a finalidade de exercer uma força F sobre o eixo de um motor elétrico, resultando a partir do contato entre as duas superfícies o atrito. O sistema mecânico é composto pelos seguintes componentes:

- Motor elétrico:** O motor utilizado é da marca Voges[®] com potência de 183,87 watts e consome 1,7 amperes quando operando em tensão de 110 volts (ver Figura 18).
- Caixa de redução:** Ao motor é acoplado uma caixa de redução, que é responsável por alterar o direcionamento do eixo do motor em 90° (ver Figura 18).

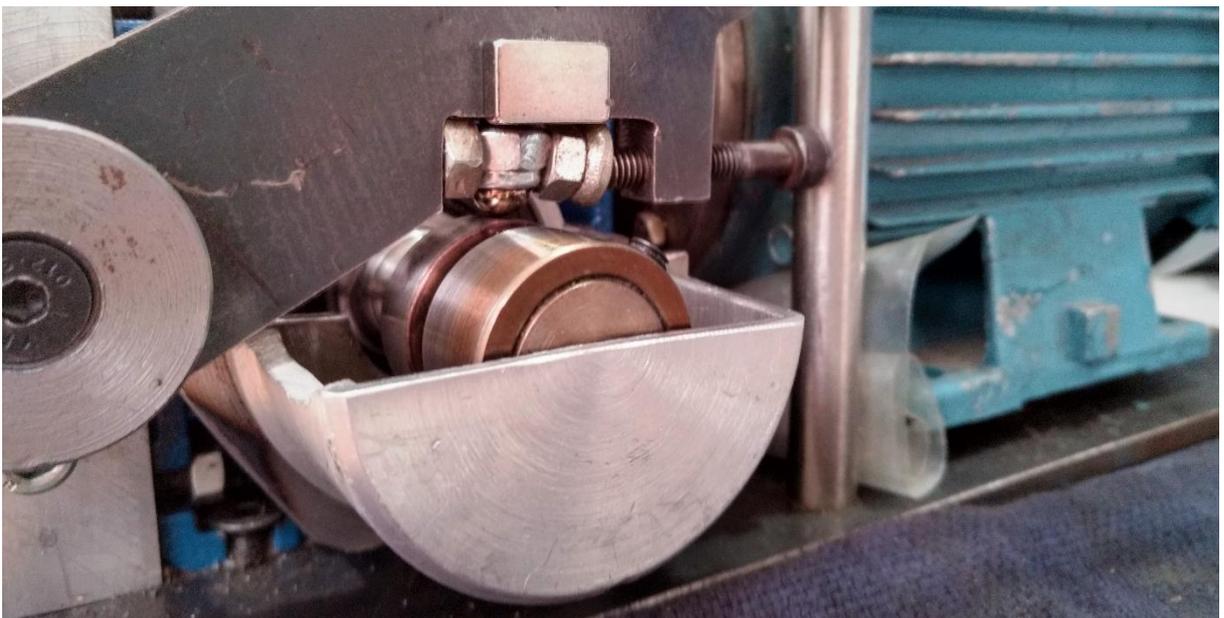
Figura 18 – Sistema mecânico de teste



Fonte: O Autor.

Para a fixação da carga foi utilizada uma alavanca com base fixa na caixa de redução, essa alavanca possui um acoplamento para fixar uma esfera que é utilizada para realizar o contato com o eixo, desta forma como visto na Figura 19 gera atrito entre esfera e eixo. Abaixo do eixo é possível acoplar um reservatório para o líquido lubrificante, este pode ser abastecido com um total de 10 mililitros de fluido.

Figura 19 – Sistema de ensaio de carga



Fonte: O Autor.

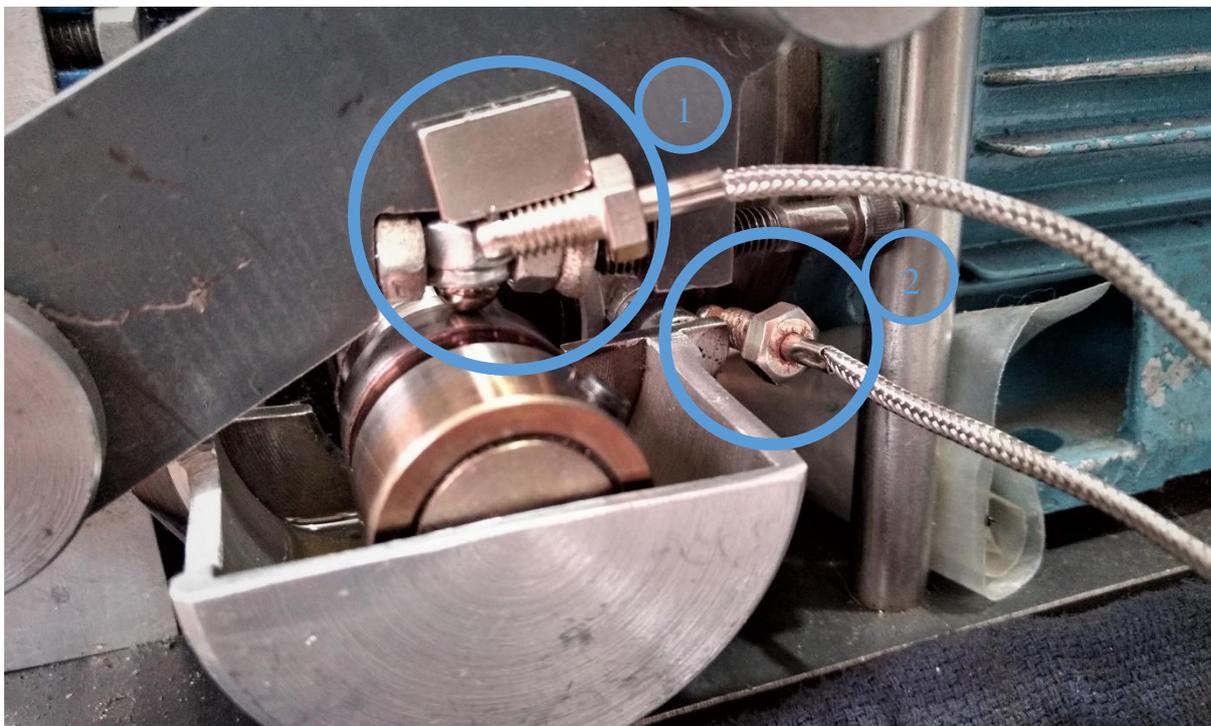
Ao aplicar uma carga sobre a alavanca é gerado na esfera de contato um atrito entre a esfera e o eixo, este atrito foi identificado através de três parâmetros coletados pelos módulos desenvolvidos apresentados na sessão 5.1 e avaliados através da ferramenta *Microsoft® Power BI®* apresentada na sessão 5.2.

5.4 Método de ensaio

Cada ensaio foi realizados no intervalo de 45 minutos que foram divididos em três etapas, onde a primeira com duração de 15 minutos o sistema mecânico atua de forma livre sem atuação da carga, em sequência a primeira carga é aplicada e atua por 15 minutos, finalizando é aplicada a segunda carga e atua junto da primeira por 15 minutos, as cargas utilizadas possuem igualmente 53,9365 newtons, estas foram colocadas sobre um alavanca e devido a sua distância e seu angulo de inclinação em relação a esfera de contato resulta em 80,9047 newtons.

Para a coleta de dados foi realizada utilizando os três módulos desenvolvidos, é possível identificar na Figura 20 os locais onde os sensores dos módulos de temperatura foram acoplados, no primeiro local é medida a temperatura mais próxima da região de contato entre esfera e eixo, o segundo local é medida a temperatura das regiões próxima ao eixo.

Figura 20 – Pontos de coleta de temperatura do sistema mecânico de teste



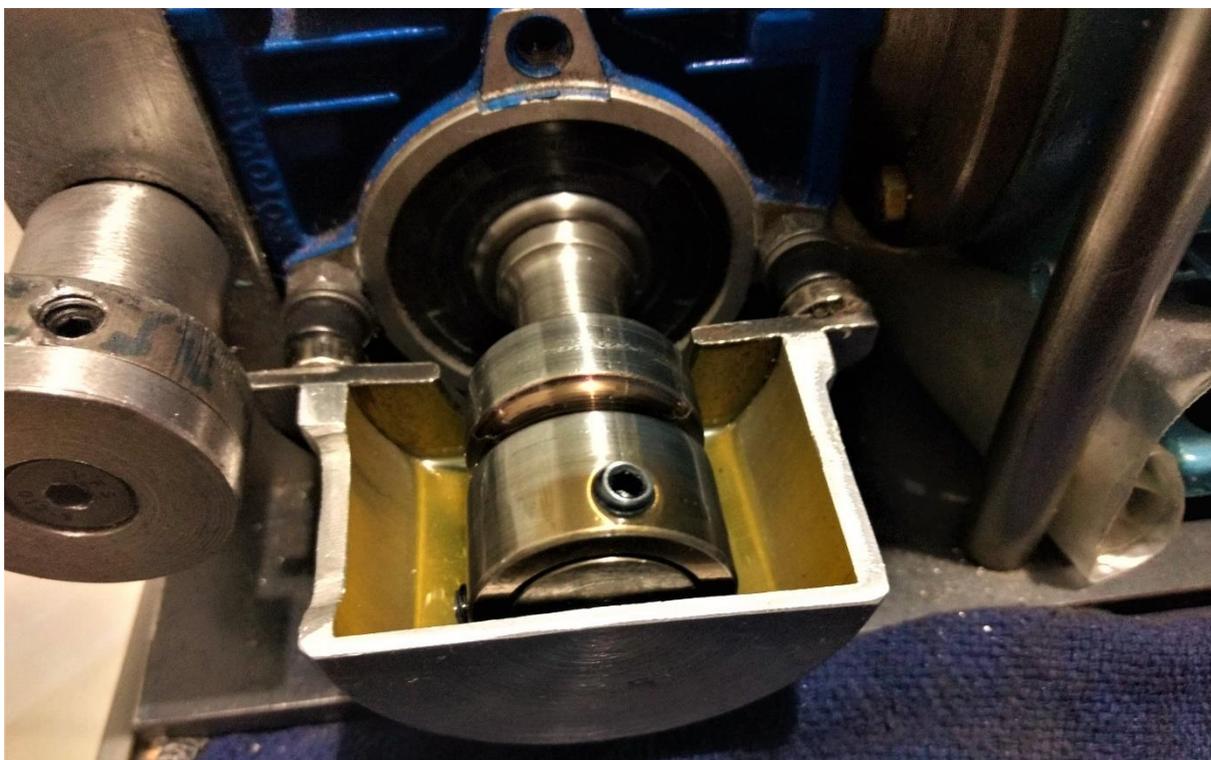
Fonte: O Autor.

O sensor do módulo de corrente elétrica foi acoplado ao cabo de energia do motor elétrico, junto ao sensor foi colocado um alicate amperímetro para acompanhar os ensaios e averiguar a acuracidade das leituras. O fluido lubrificante utilizado nos ensaios foi o Petrol® Hipóide Mineral SAE 90 que possui como características uma densidade de 0,880 e viscosidade cinemática de 130cST a 40°C e 17cST a 100°C que representa uma perda de 69,23% em sua viscosidade, a embalagem de 1litro e a amostra do fluido podem ser vistos na Figura 22. Cada leitura foi realizada com o intervalo médio de 4 segundos.

5.5 Ensaio 1

O primeiro ensaio foi realizado conforme parâmetros especificados na sessão 5.4 e executado sobre a condição do sistema lubrificado, desta forma o reservatório lubrificante foi abastecido com 10 mililitros do fluido lubrificante e permite como visto na Figura 21 que o eixo ao manter contato com o fluido se mantenha lubrificado durante todo o ensaio.

Figura 21 – Sistema lubrificado no ensaio 1

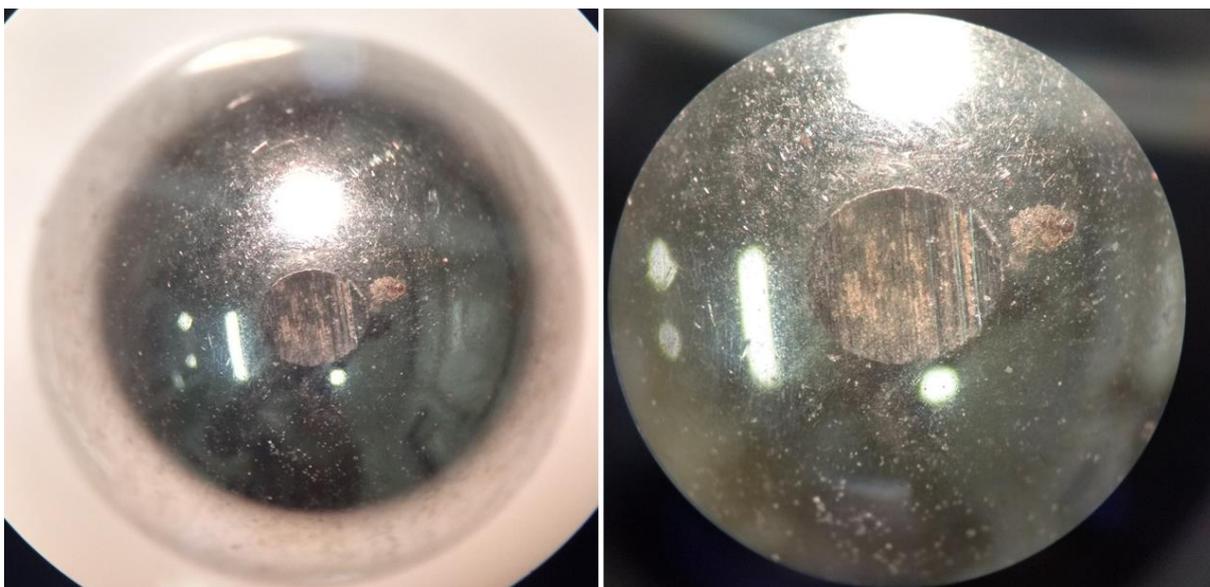


Fonte: O Autor.

A esfera utilizada neste ensaio possuía um diâmetro de 6,65 milímetros. O ensaio foi realizado durante 45 minutos e após este período o motor foi desligado, a esfera foi removida e

seu diâmetro foi novamente medido, constando 6,62 milímetros uma perda de 0,03 milímetros com relação ao diâmetro inicial, é possível identificar na Figura 22 os desgastes sofridos pela esfera. Os resultados do ensaio obtidos através da ferramenta *Microsoft® Power BI®* podem ser observados no Anexo D.

Figura 22 – Esfera após ensaio 1



Fonte: O Autor.

5.6 Ensaio 2

O segundo ensaio foi realizado conforme parâmetros especificados na sessão 5.4 e executado sobre a condição do sistema pouco lubrificado, desta forma o fluido lubrificante foi aplicado ao eixo, mas não é mantido sobre ele como visto na Figura 23, neste ensaio o sistema tende a perder sua lubrificação devido a reações químicas do fluido conforme o aumento da temperatura e o atrito. A esfera utilizada neste ensaio possuía um diâmetro de 6,91 milímetros. O ensaio foi realizado durante aproximadamente 33 minutos, pois com o aumento do atrito ocorreu uma sobrecarga no motor que travou o eixo parando completamente o ensaio, a esfera foi removida e seu diâmetro foi novamente medido constando 6,86 milímetros, uma perda de 0,03 milímetros com relação ao diâmetro inicial

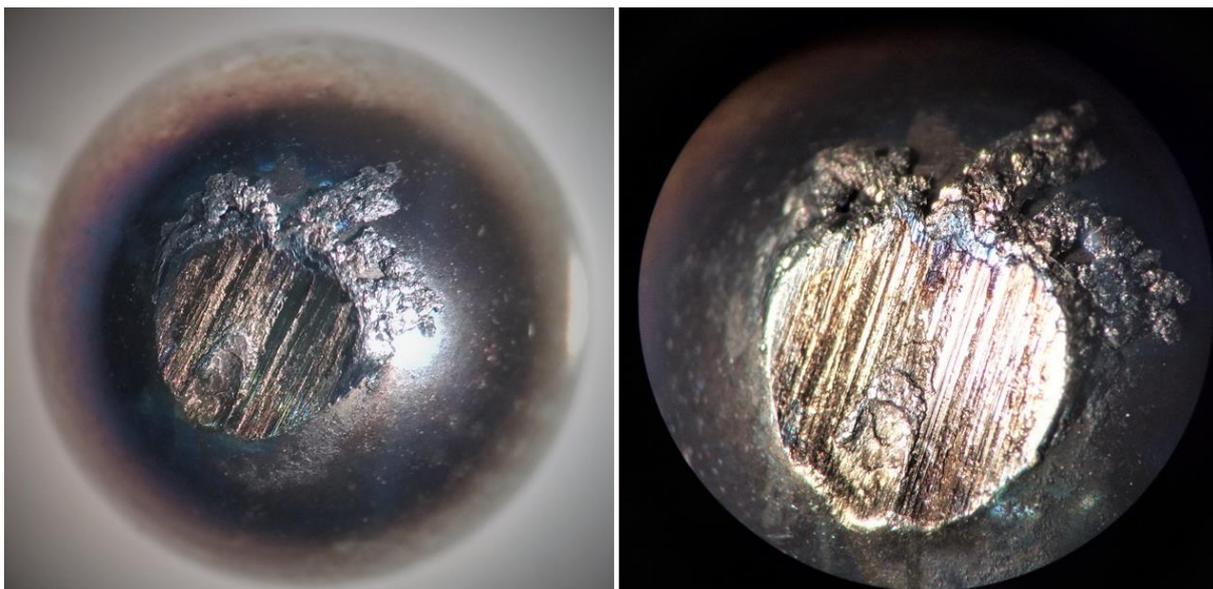
Figura 23 – Sistema deslublificado no ensaio 2



Fonte: O Autor.

É possível identificar na Figura 24 que partes que se soltaram da esfera foram soldados em seu contorno devido à alta temperatura. Os resultados do ensaio obtidos através da ferramenta *Microsoft® Power BI®* podem ser observados no Anexo E.

Figura 24 – Esfera após ensaio 2

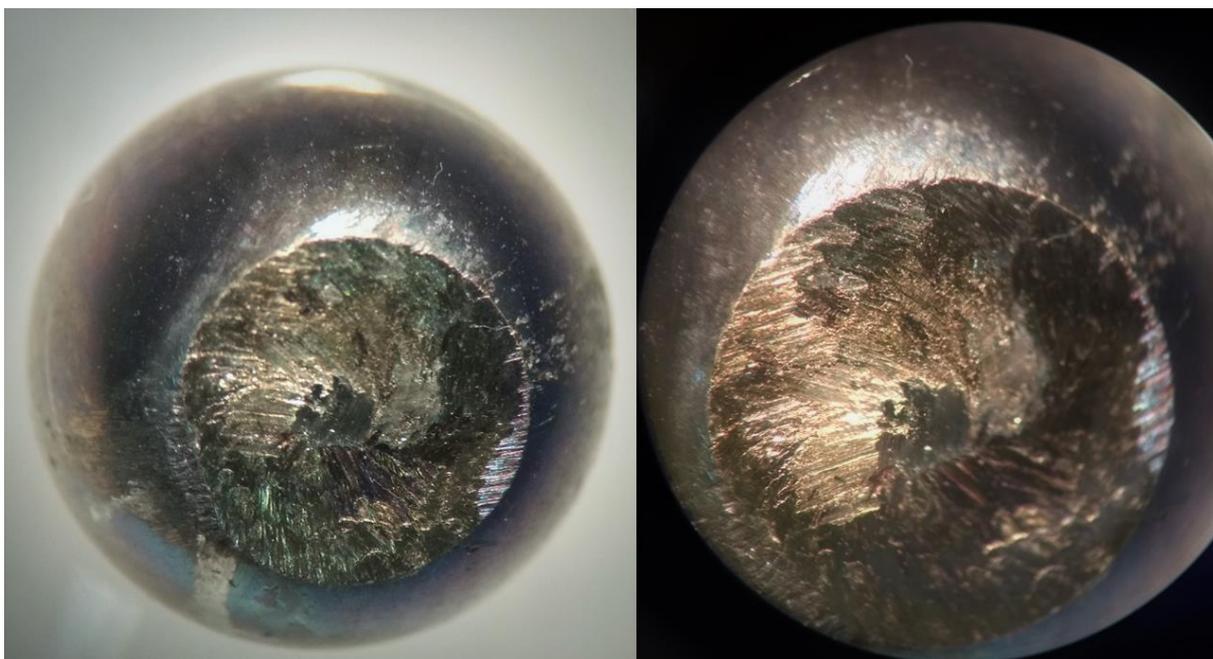


Fonte: O Autor.

5.7 Ensaio 3

O terceiro ensaio foi realizado conforme parâmetros especificados na sessão 5.4 e executado sobre a condição do sistema sem lubrificação, desta forma o fluido lubrificante não é aplicado eixo, resultando em um atrito direto entre eixo e esfera de teste. A esfera utilizada neste ensaio possuía um diâmetro de 7,19 milímetros. O ensaio foi realizado durante aproximadamente 21 minutos, sendo que 6 minutos após a aplicação da primeira carga, pois com o aumento do atrito ocorreu uma sobrecarga no motor que travou o eixo parando completamente o ensaio, a esfera foi removida e seu diâmetro foi novamente medido constando 7,09 milímetros, uma perda de 0,10 milímetros com relação ao diâmetro inicial. É possível identificar na Figura 25 que o desgaste por tempo foi maior que nos demais ensaios. Os resultados do ensaio obtidos através da ferramenta *Microsoft® Power BI®* podem ser observados no Anexo F.

Figura 25 – Esfera após ensaio 3



Fonte: O Autor.

6 RESULTADO E DISCUSSÃO

Através da análise dos resultados dos ensaios realizados (ver Anexo D, E e F) é possível identificar que o aumento do atrito no sistema mecânico proveniente de uma falta de lubrificação pode ser identificado através dos parâmetros coletados pelos módulos. O desgaste causados pelos diferentes processos ensaiados podem ser observados através da análise do diâmetro e tempo de ensaio de cada esfera de teste, como observado no Quadro 7 o desgaste do sistema sem lubrificação (Ensaio 3) foi muito maior em um menor intervalo de tempo.

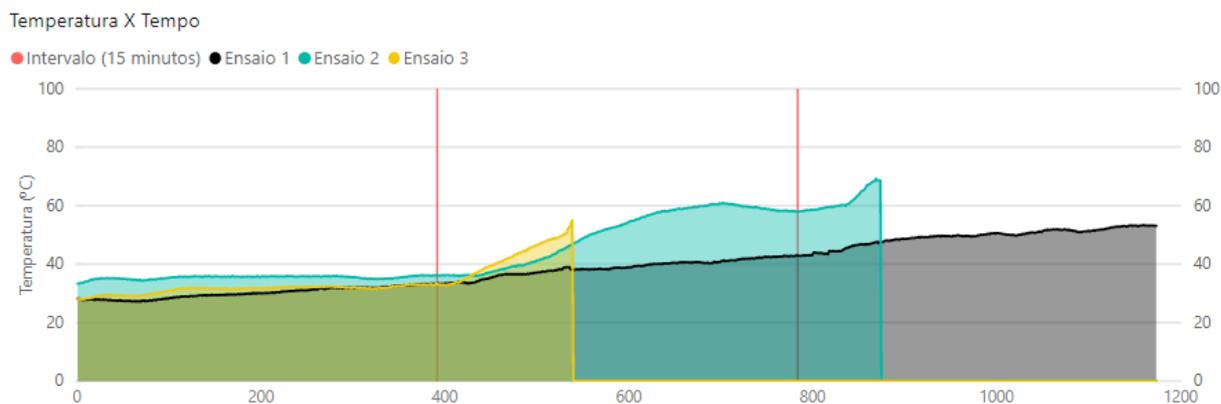
Quadro 6 – Comparação dos desgastes causados pelos ensaios

	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3
Diâmetro Inicial (Milímetros)	6,65	6,91	7,19
Diâmetro Final (Milímetros)	6,62	6,86	7,09
Tempo de Ensaio (Segundos)	2700	1980	1260
Desgaste por Tempo (Milímetros por Segundos)	$1,11 \times 10^{-5}$	$2,52 \times 10^{-5}$	$7,93 \times 10^{-5}$

Fonte: O Autor.

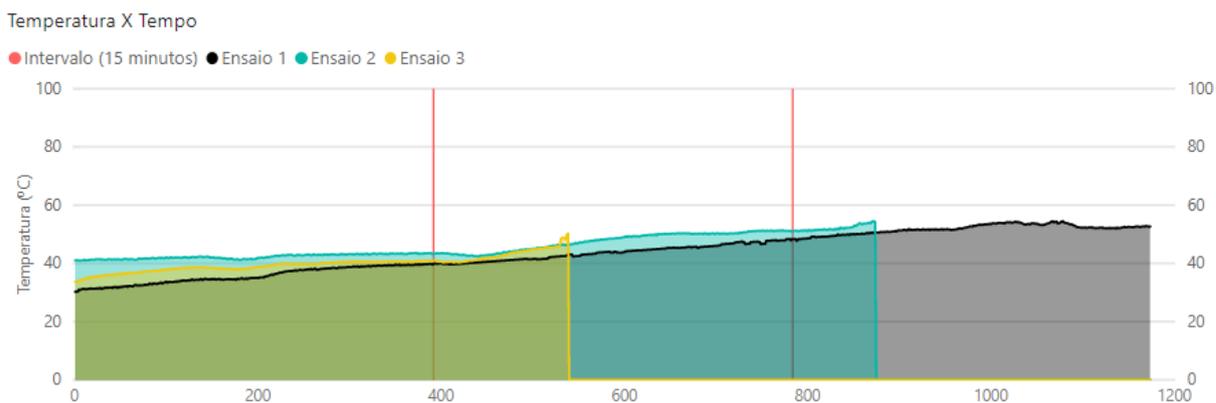
Para os 15 minutos iniciais em ambos os ensaios as temperaturas se mantiveram constantes, ao aplicar a carga inicial no sistema é visível que a temperatura se comportou de forma diferente, sendo possível notar no Gráfico 6 que nos ensaios 2 e 3 a temperatura próximo a esfera de teste cresce em maior velocidade do que analisado na região da caixa de redução visto no Gráfico 7 isto ocorre devido ao atrito que aumentou com a aplicação da carga.

Gráfico 6 – Comparação da temperatura coletada nos ensaios próximo ao eixo



Fonte: O Autor.

Gráfico 7 – Comparação da temperatura coletada nos ensaios na caixa de redução



Fonte: O Autor.

Com o aumento do atrito aumenta-se também a força de sollicitação do sistema pelo motor, que como analisado no Gráfico 8 consome mais corrente elétrica, quando este consumo é maior que a corrente de operação do motor, 1,7 ampres, ocorre a sobrecarga do motor, causando as interrupções do sistema nos ensaios 2 e 3.

Gráfico 8 – Comparação de corrente elétrica coletada nos ensaios



Fonte: O Autor.

Quando analisado juntos os parâmetros dos três ensaios é possível concluir que quando o sistema está lubrificado os parâmetros se mantêm estáveis e nos casos de deslubrificação e sem lubrificação ao aplicar cargas aumentando desta forma aumentando o atrito os valores coletados são maiores que do sistema lubrificado, sendo possível concluir que com o afastamento dos valores do padrão de funcionamento é possível identificar uma falha na lubrificação do sistema, assim alertando o operador para que seja feita uma análise da

lubrificação no sistema.

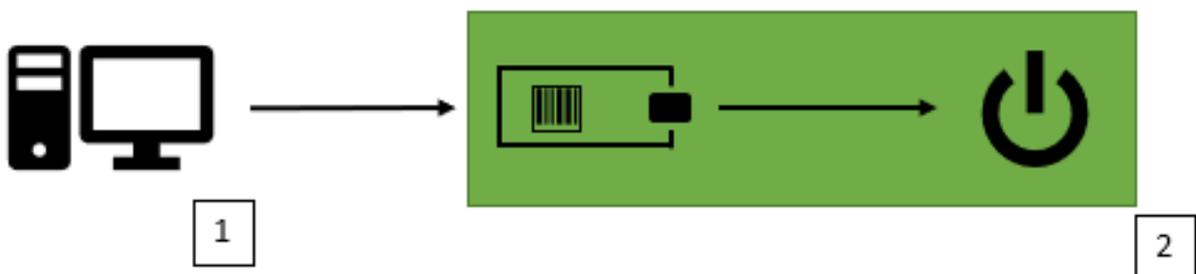
Todas as informações coletadas são armazenadas no banco de dados e podem ser acessadas internamente ou externamente ao conectar o banco de dados a internet, a ferramenta *Microsoft® Power BI®* também permite publicar os dados analisados externamente em sua versão on-line, desta forma as análises podem ser acessadas em qualquer lugar ou dispositivo devido as versões portáteis da ferramenta.

6.1 Aplicação Industrial

Com a análise dos parâmetros coletados é possível identificar o momento em que o atrito no sistema mecânico aumenta, isto possivelmente ocasionado por uma falta ou excesso de lubrificação, desta forma o conjunto hardware e software podem ser aplicados pelo departamento de manutenção como uma ferramenta de manutenção preditiva como explicado na sessão 3 cabendo uma análise técnica para a constatação da real situação do sistema mecânico, e posteriormente a execução de uma manutenção corretiva para o mesmo.

Para casos onde haja a necessidade de se lubrificar o sistema mecânico automaticamente, é possível realizar esta ação através da utilização de uma chave digital relé como explicado na sessão 2.1.1, seu acionamento é realizado através de um código em linguagem *Python®* executado no servidor (ver Figura 26, item 1) que envia um comando através da porta USB® para a placa *Arduino®* Nano que liga ou desliga o relé (ver Figura 26, item 2) desta forma é possível acionar um sistema de lubrificação para que a lubrificação do sistema.

Figura 26 – Diagrama de ligação do módulo relé



Fonte: O Autor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante aos fatos expostos, é possível concluir que mesmo diante da desfavorável situação industrial brasileira e do baixo investimento em pesquisas, existe campo para a implementação dos conceitos da quarta revolução industrial, e com baixo investimento em sensores e estrutura de software é possível otimizar processos a fim de diminuir custos.

O processo de lubrificação industrial, com a aplicação da indústria 4.0 através da implementação de sensores permite uma mudança de operação, alterando sua atuação de uma manutenção preventiva para uma manutenção preditiva, o que reduz os custos de manutenção, a análise dos dados coletados pode ser efetuada de forma simples e em tempo real utilizando ferramentas adequadas. A aplicação da indústria 4.0 efetuada de forma consciente e em pontos críticos, traz melhorias significativas as indústrias brasileiras, porem se faz necessário uma mudança de cultura onde a pesquisa e o desenvolvimento sejam mais praticados, oque auxilia diretamente na aplicação de novas tecnologias.

Este trabalho requer um maior aprofundamento sobre os riscos a segurança de dados com o advento da quarta revolução industrial, mesmo com alto nível de segurança cibernética que possuímos, o futuro da segurança das indústrias ainda é incerto.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. **A situação da manutenção no brasil**: Documento Nacional 2013. Salvador, 2013. 23 p. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/403/403.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2018.
- ASPIN, Adam. **Pro Power BI Desktop**. New York: Apress, 2016. 509 p.
- ARDUINO. **What is Arduino?**. Itália, 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> >. Acesso em: 22 jul. 2018.
- BRASIL. Ministério da Indústria Comércio Exterior e Serviços. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0**: o Brasil preparado para os desafios do futuro, 2018. Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: 25 jun. 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>>. Acesso em: 22 jun. 2018.
- DELOITTE. **Global Manufacturing Competitiveness Index**. Londres, 2016. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/global/en/pages/manufacturing/articles/global-manufacturing-competitiveness-index.html>>. Acesso em: 22 jun. 2018.
- DUARTE JUNIOR, Durval. **Tribologia, lubrificação e mancais de deslizamento**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2005. 239 p.
- FILIFEFLOP COMPONENTES ELETRÔNICOS. **Sensor de Corrente Não Invasivo 100A SCT-013**. Florianópolis, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-corrente-nao-invasivo-100a-sct-013/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- _____. **Módulo Relé 5V 2 Canais**, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/modulo-rele-5v-2-canais/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- _____. **Sensor Termopar Tipo K Temperatura -50 a 400°C**, 2018. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/produto/sensor-termopar-tipo-k-temperatura-50-a-650c/>>. Acesso em: 15 jun. 2018.
- GERMAN ACADEMY OF SCIENCE AND ENGINEERING. **Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0**. Frankfurt, 2013. Disponível em: <http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report__Industrie_4.0_accessible.pdf>. Acesso em: 30 maio 2018.
- HUTCHINGS, Ian; SHIPWAY, Philip. **Tribology: friction and wear of engineering materials**. 2. ed. Oxford: Butterworth-heinemann, 2017. 412 p.
- MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **The internet of things: mapping the value beyond the hype**. Nova Iorque, 2015. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Business_Functions/McKinsey_Digital/Our>

Insights/The Internet of Things The value of digitizing the physical world/The-Internet-of-things-Mapping-the-value-beyond-the-hype.ashx>. Acesso em: 15 jun. 2018.

_____. **Artificial intelligence: the next digital frontier?**. Nova Iorque, 2017. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Advanced%20Electronics/Our%20Insights/How%20artificial%20intelligence%20can%20deliver%20real%20value%20to%20companies/MGI-Artificial-Intelligence-Discussion-paper.ashx>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

MELCONIAN, Sarkis. **Elementos de Máquinas**. 9. ed. São Paulo: Érica, 2009.

NOGUEIRA, Cássio Ferreira; GUIMARÃES, Leonardo Miranda; SILVA, Margarete Diniz Braz da. Manutenção Industrial: implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM). **Exacta**, Belo Horizonte, v. 5, p.175-197, 2012.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDÚSTRIAL. **Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção: Lubrificação Mecânica**. Vitória, 1997. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/docs/apostilas/Mecanica-Lubrificacao.pdf?viewType=Print&viewClass=Print>>. Acesso em: 22 maio 2018.

SVENSKA KULLAGER FABRIKEN. **Lubrificadores automáticos SKF**. Cajamar: Grupo Skf, 2017. 16 p. (Catálogo). Disponível em: <www.skf.com/binary/82-66465/12673PTBR_LAGD_brochure.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2018.

_____. **O poder da lubrificação**. Cajamar: Grupo Skf, 2014. 12 p. (Catálogo). Disponível em: <<http://www.skf.com/binary/82-167158/15117PT.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2018.

UNIVERSITY CORNELL. **Global Innovation Index**. Genebra, 2017. Disponível em: <<https://www.globalinnovationindex.org/>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

ANEXO A – CÓDIGO ARDUINO TERMOPAR TIPO K

```
1. // Bibliotecas para o Termopar
2. #include <Wire.h>
3. #include "max6675.h"
4. //Pinos usados no Termopar 01
5. int thermoDO = 5;
6. int thermoCS = 6;
7. int thermoCLK = 7;
8. //Cria o objeto do Termopar e seta os Pinos Digitais
9. MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
10. //Numero de amostras
11. int amostragem = 10;
12. void setup(){
13. Serial.begin(9600);
14. delay(1000);
15. }
16. void loop(){
17. //Variavel que recebera os dados de leitura
18. float temperatura = 0;
19. //Inicia a leitura das amostras
20. for(int index =0; index < amostragem; index++){
21. temperatura = thermocouple.readCelsius() + temperatura;
22. delay(200);
23. }
24. //Tira a media das leituras
25. temperatura = temperatura / amostragem;
26. //Imprime na Serial
27. Serial.println(temperatura);
28. delay(10);
29. }
```

ANEXO B – CÓDIGO ARDUINO SESOR DE CORRENTE STC-013

```
1. #include "EmonLib.h"
2. EnergyMonitor SCT013;
3. int pinSCT = A1; //Pino analógico conectado ao SCT-013
4. int tensao = 220;
5. int potencia;
6. void setup(){
7.   SCT013.current(pinSCT, 6.0606);
8.   Serial.begin(9600);
9. }
10. void loop(){
11.   double Irms = SCT013.calcIrms(1480); // Calcula o valor da Corrente
12.   //Mostra o valor da corrente no serial monitor e display
13.   Serial.println(Irms);
14.   delay(1000);
15. }
```

ANEXO C – CÓDIGO PYTHON GRAVAÇÃO NO BANCO DE DADOS

```
1. #!/usr/bin/python
2. # -*- coding: iso-8859-1 -*-
3. import serial
4. comport_TEMP0 = serial.Serial('COM4', 9600)
5. comport_TEMP1 = serial.Serial('COM5', 9600)
6. comport_CORR0 = serial.Serial('COM6', 9600)
7. import mysql.connector
8. cnx = mysql.connector.connect(user='root', password='', host='127.0.0.1', database='acsm')
9. cursor = cnx.cursor()
10. add_sinais_temp = ("INSERT INTO temperatura (temp_sensor_id,temp_dado) VALUES (%s, %s)")
11. add_sinais_corr = ("INSERT INTO corrente (corr_sensor_id,corr_dado) VALUES (%s, %s)")
12. while (True):
13.     serialValue_TEMP0 = comport_TEMP0.readline()
14.     serialValue_TEMP1 = comport_TEMP1.readline()
15.     serialValue_CORR0 = comport_CORR0.readline()
16.     temp_dado_TEMP0 = ('2', serialValue_TEMP0)
17.     temp_dado_TEMP1 = ('3', serialValue_TEMP1)
18.     temp_dado_CORR0 = ('4', serialValue_CORR0)
19.     print (temp_dado_TEMP0)
20.     print (temp_dado_TEMP1)
21.     print (temp_dado_CORR0)
22.     cursor.execute(add_sinais_temp, temp_dado_TEMP0)
23.     cursor.execute(add_sinais_temp, temp_dado_TEMP1)
24.     cursor.execute(add_sinais_corr, temp_dado_CORR0)
25.     cnx.commit()
26.     cursor.close()
27.     cnx.close()
28.     comport_TEMP0.close()
29.     comport_TEMP1.close()
30.     comport_CORR0.close()
```

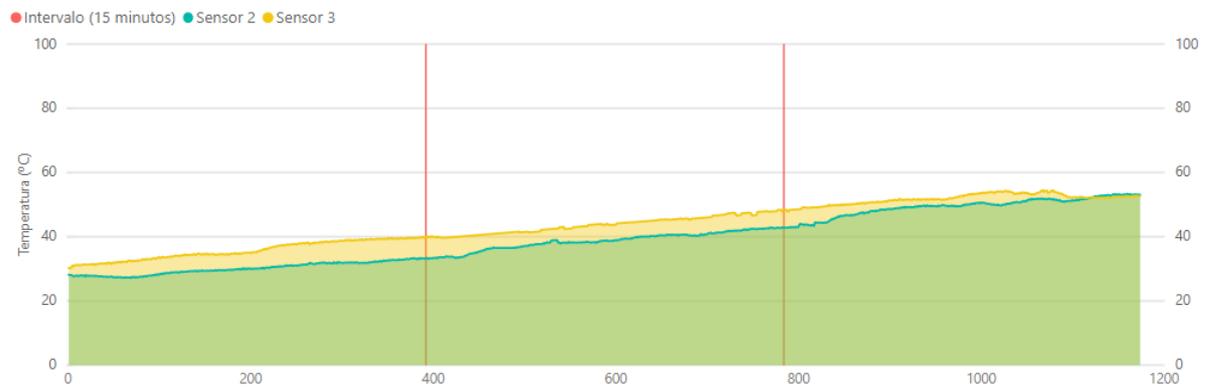
ANEXO D – RESULTADOS ENSAIO 1

Equipamento	Sensor	ID do Sensor	Porta USB	Local de Coleta	Ano	Mês	Dia
Motor Ensaio	Módulo de Temperatura	3	COM6	Carcaça da caixa de redução	2018	Setembro	23
Motor Ensaio	Módulo de Temperatura	2	COM5	Proximo a esfera de teste	2018	Setembro	23
Motor Ensaio	Módulo de Corrente	2	COM7	Fio do motor	2018	Setembro	23

Módulo de Temperatura



Temperatura X Tempo



Módulo de Corrente Elétrica



Corrente Elétrica X Tempo



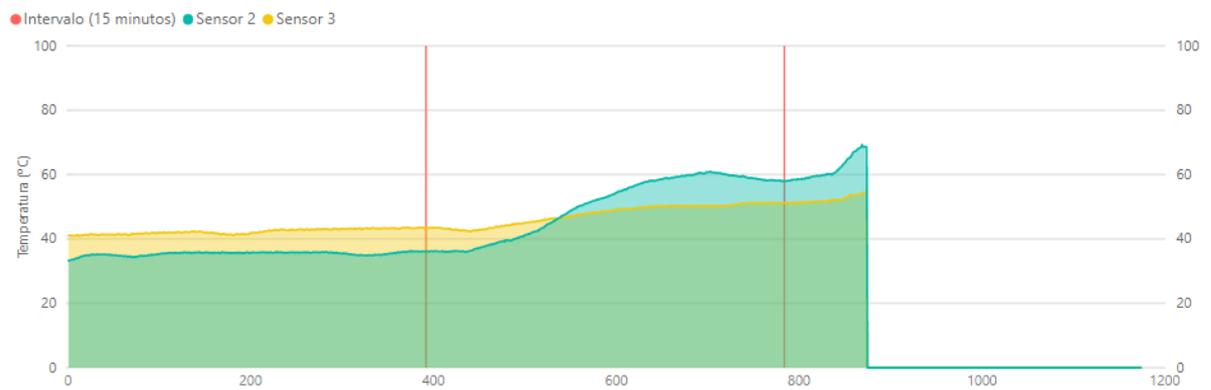
ANEXO E – RESULTADOS ENSAIO 2

Equipamento	Sensor	ID do Sensor	Porta USB	Local de Coleta	Ano	Mês	Dia
Motor Ensaio	Módulo de Temperatura	3	COM6	Carcaça da caixa de redução	2018	Setembro	23
Motor Ensaio	Módulo de Temperatura	2	COM5	Proximo a esfera de teste	2018	Setembro	23
Motor Ensaio	Módulo de Corrente	2	COM7	Fio do motor	2018	Setembro	23

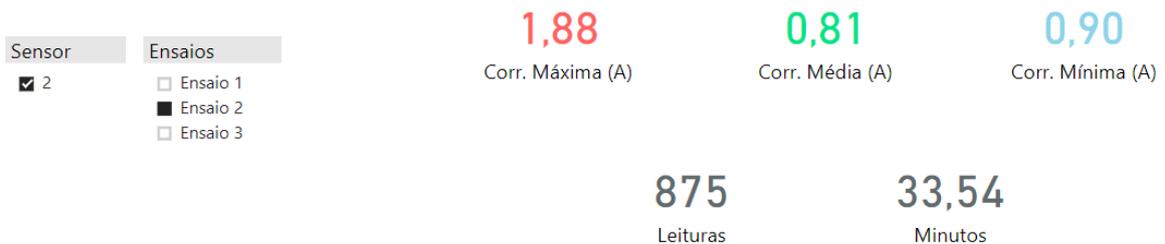
Módulo de Temperatura



Temperatura X Tempo



Módulo de Corrente Elétrica



Corrente Elétrica X Tempo



ANEXO F – RESULTADOS ENSAIO 3

Equipamento	Sensor	ID do Sensor	Porta USB	Local de Coleta	Ano	Mês	Dia
Motor Ensaio	Módulo de Temperatura	3	COM6	Carcaça da caixa de redução	2018	Setembro	23
Motor Ensaio	Módulo de Temperatura	2	COM5	Proximo a esfera de teste	2018	Setembro	23
Motor Ensaio	Módulo de Corrente	2	COM7	Fio do motor	2018	Setembro	23

Módulo de Temperatura

Sensor

2

3

Ensaio

Ensaio 1

Ensaio 2

Ensaio 3

55,00

Temp. Máxima (°C)

16,99

Temp. Média (°C)

27,87

Temp. Mínima (°C)

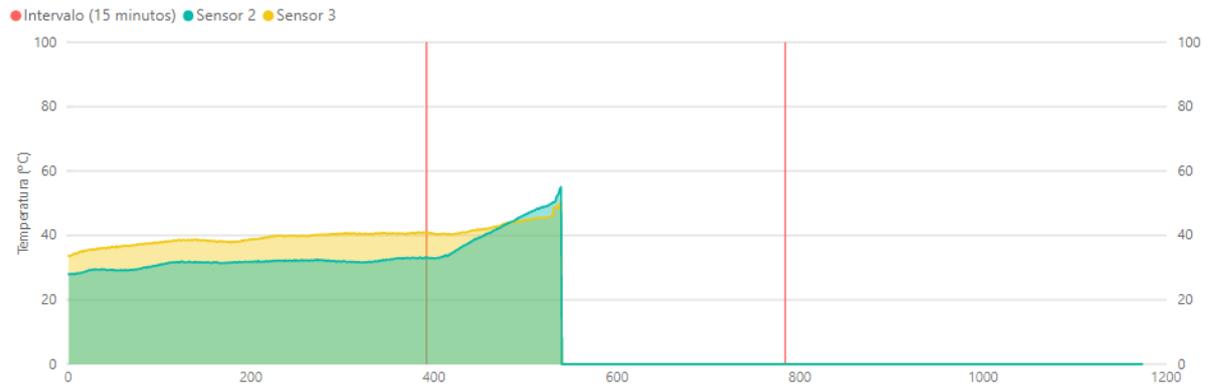
539

Leituras

20,66

Tempo

Temperatura X Tempo



Módulo de Corrente Elétrica

Sensor

2

Ensaio

Ensaio 1

Ensaio 2

Ensaio 3

1,90

Corr. Máxima (A)

0,49

Corr. Média (A)

0,90

Corr. Mínima (A)

538

Leituras

20,62

Minutos

Corrente Elétrica X Tempo

