



ETEC DEPUTADO ARY DE CAMARGO PEDROSO

AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

AUGUSTO FELIPE MOREIRA GONÇALVES

AUGUSTO FERNANDES MACHADO

TIAGO FIGUEIREDO DE CAMPOS

TIAGO VIDAL SILVA

**SENSOR DE MONITORAMENTO PREDITIVO PARA MAQUINÁRIO
INDUSTRIAL – JOLLY CHIMP**

PIRACICABA – SP

2024

AUGUSTO FELIPE MOREIRA GONÇALVES

AUGUSTO FERNANDES MACHADO

TIAGO FIGUEIREDO DE CAMPOS

TIAGO VIDAL SILVA

Sensor de monitoramento preditivo – Jolly Chimp

Projeto sobre sensor de monitoramento preditivo feito a partir do curso de automação industrial, da Escola Técnica (ETEC) Deputado Ary de Camargo Pedroso para obtenção da conclusão de curso.

Orientador: Prof. Ms. Silvio Nunes dos Santos

Piracicaba – SP

2024

RESUMO

Este trabalho desenvolveu um sistema de monitoramento em tempo real para manutenção preditiva de equipamentos industriais, utilizando sensores de corrente (ACS712) e vibração (piezoelétrico) conectados a um microcontrolador ESP32. O sistema identifica falhas como curtos-circuitos, sobrecargas e desgastes de componentes, transmitindo os dados coletados para uma interface web acessível via Wi-Fi. A página web permite a visualização de informações como potência, corrente e vibração, exibindo gráficos em tempo real e alertas para condições fora do normal. A pesquisa, de caráter quantitativo e experimental, focou na coleta e análise de dados em condições simuladas. O protótipo demonstrou eficácia na detecção de anomalias e na apresentação dos dados em tempo real, com funcionalidade validada pela interface intuitiva. Contudo, algumas limitações foram identificadas, como a sensibilidade reduzida dos sensores em situações específicas e a dependência da conectividade Wi-Fi. A manutenção preditiva, base deste projeto, reduz custos operacionais, aumenta a disponibilidade dos equipamentos e melhora a segurança ao prever falhas antes que ocorram. Tecnologias como sensores IoT, inteligência artificial e análise de Big Data foram integradas para monitoramento contínuo e análise de tendências, alinhando-se aos princípios da Indústria 4.0. A NBR 5462 e a ISO 17359:2018 foram empregadas como base normativa para garantir confiabilidade, manutenibilidade e a implementação eficaz do sistema. A norma ISO 13372:2012 padronizou a terminologia e reforçou a importância de diagnósticos precisos no monitoramento de condição. Os resultados do protótipo indicam potencial para transformar abordagens tradicionais de manutenção industrial, otimizando processos e contribuindo para a sustentabilidade e eficiência operacional. Sugere-se, para estudos futuros, a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para prever falhas com maior precisão e a realização de testes em ambientes industriais reais, com a inclusão de funcionalidades adicionais, como o monitoramento de temperatura. Este projeto está alinhado ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 9, promovendo inovação e industrialização sustentável. Ao oferecer uma solução escalável e acessível, reforça o papel da tecnologia na modernização das práticas industriais, criando oportunidades para maior produtividade, redução de desperdícios e avanços na gestão de ativos industriais.

Palavras-chave: Manutenção preditiva, Monitoramento em tempo real, Sensores industriais, Microcontrolador ESP32, IoT (Internet das Coisas)

ABSTRACT

This study developed a real-time monitoring system for predictive maintenance of industrial equipment, utilizing current sensors (ACS712) and vibration sensors (piezoelectric) connected to an ESP32 microcontroller. The system identifies faults such as short circuits, overloads, and component wear, transmitting collected data to a web interface accessible via Wi-Fi. The web page allows users to view information such as power, current, and vibration, displaying real-time graphs and alerts for abnormal conditions. The research, quantitative and experimental in nature, focused on data collection and analysis in simulated conditions. The prototype demonstrated effectiveness in anomaly detection and real-time data presentation, validated by its intuitive interface. However, some limitations were identified, such as reduced sensor sensitivity in specific situations and dependence on Wi-Fi connectivity. Predictive maintenance, the foundation of this project, reduces operational costs, increases equipment availability, and enhances safety by predicting failures before they occur. Technologies such as IoT sensors, artificial intelligence, and Big Data analysis were integrated for continuous monitoring and trend analysis, aligning with Industry 4.0 principles. NBR 5462 and ISO 17359:2018 were used as normative bases to ensure reliability, maintainability, and effective system implementation. The ISO 13372:2012 standard standardized terminology and reinforced the importance of accurate diagnostics in condition monitoring. The prototype results indicate potential to transform traditional approaches to industrial maintenance, optimizing processes and contributing to sustainability and operational efficiency. For future studies, the application of machine learning algorithms to improve fault prediction accuracy and tests in real industrial environments with additional functionalities, such as temperature monitoring, are suggested. This project aligns with Sustainable Development Goal No. 9, promoting innovation and sustainable industrialization. By offering a scalable and accessible solution, it reinforces the role of technology in modernizing industrial practices, creating opportunities for greater productivity, waste reduction, and advancements in industrial asset management.

Keywords: Predictive maintenance, Real-time monitoring, Industrial sensors, ESP32 microcontroller, IoT (Internet of Things)

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 MOTIVAÇÃO.....	7
1.2 JUSTIFICATIVA.....	7
1.3 OBJETIVO GERAL.....	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 Manutenção Preditiva.....	10
2.2 Sensores.....	16
2.3 ESP32.....	17
3 MÉTODO.....	19
3.1 Descrição Geral.....	19
3.2 Tipo de Pesquisa.....	19
3.3 Procedimentos e Técnicas de Coleta de Dados.....	19
3.4 Procedimentos de Análise dos Dados.....	20
3.5 Desenvolvimento do Projeto.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4.1 Introdução à Seção.....	21
4.2 Apresentação dos Resultados.....	21
4.3 Análise dos Resultados.....	22
4.4 Discussão Crítica.....	22
5 CONCLUSÃO.....	24
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25

1. INTRODUÇÃO

A eficiência e a confiabilidade dos equipamentos industriais são cruciais para o bom desempenho e a competitividade de qualquer operação manufatureira. No cenário atual, onde a automação e a tecnologia desempenham papéis cada vez mais importantes, a manutenção preditiva surge como uma estratégia essencial para garantir a longevidade e a eficácia dos sistemas industriais. O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real para a manutenção preditiva de equipamentos industriais, utilizando uma combinação avançada de sensores e tecnologias de comunicação. (Tractian, 2023)

Este projeto visa implementar um protótipo que integra um módulo sensor de corrente e um sensor piezelétrico. O sensor de corrente é projetado para identificar anomalias como curtos-circuitos, sobrecargas em motores, falta de fase e quedas de tensão, enquanto o sensor piezelétrico monitora vibrações para detectar possíveis desgastes nos componentes. Os dados coletados por estes sensores serão transmitidos em tempo real para um dispositivo móvel através de um website desenvolvido especificamente para esta finalidade. (SciELO Brazil, 2023)

A escolha do microcontrolador ESP32 se justifica pela sua capacidade de conexão Wi-Fi, que permite a transmissão eficiente e contínua dos dados dos sensores para o site. Este mesmo oferece uma interface intuitiva e de fácil acesso, apresentando informações detalhadas e atualizadas sobre o estado dos componentes monitorados. O usuário pode visualizar dados cruciais como potência, voltagem, corrente e temperatura, além de gráficos e tendências históricas que facilitam a identificação de padrões e a previsão de possíveis falhas. (Michaela Merz, 2018)

Com a implementação deste sistema, busca-se não apenas a detecção precoce de falhas, mas também a otimização dos processos de manutenção, reduzindo paradas não planejadas e prolongando a vida útil dos equipamentos. A combinação de sensores avançados com uma interface amigável no website tem o potencial de transformar a abordagem tradicional de manutenção industrial, oferecendo uma solução inovadora e eficaz para o monitoramento e a gestão dos ativos industriais. (UNIFESP, 2022)

1.1 MOTIVAÇÃO

A crescente complexidade dos sistemas industriais e a demanda por operações cada vez mais eficientes e seguras têm destacado a importância da manutenção preditiva como uma abordagem estratégica essencial. Em um cenário onde o tempo de inatividade não planejado pode levar a significativas perdas financeiras e impactar a competitividade das empresas, a capacidade de antecipar e prevenir falhas antes que ocorram se torna um diferencial competitivo crucial.

A motivação para este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) surge da necessidade urgente de modernizar e otimizar os processos de manutenção industrial por meio da integração de tecnologias avançadas. O avanço da automação e dos sensores permite uma análise detalhada e em tempo real das condições operacionais dos equipamentos, possibilitando a detecção precoce de problemas e a tomada de decisões informadas para sua resolução.

A proposta deste projeto, que envolve o desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real utilizando sensores de corrente e piezelétricos, visa não apenas identificar anomalias e desgastes em equipamentos, mas também fornecer uma plataforma acessível e intuitiva para a visualização e interpretação dos dados. Ao utilizar o microcontrolador ESP8266 para a comunicação eficiente e a transmissão de informações, o sistema proposto promete uma solução inovadora que pode transformar a abordagem tradicional de manutenção industrial.

Este projeto é motivado pela crescente necessidade de reduzir os custos associados a falhas inesperadas e otimizar o ciclo de vida dos equipamentos. Ao desenvolver uma solução que une tecnologia de sensores avançados com uma interface de usuário amigável, buscamos oferecer uma ferramenta que não apenas atenda às demandas atuais do setor, mas também defina novos padrões para a manutenção preditiva. A implementação deste sistema tem o potencial de melhorar significativamente a eficiência operacional, reduzir os períodos de inatividade e aumentar a confiabilidade dos sistemas industriais, beneficiando empresas e profissionais do setor com uma abordagem mais proativa e informada para a gestão de ativos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A escolha do tema deste TCC é embasada na crescente demanda por maior eficiência e confiabilidade dos equipamentos industriais, elementos cruciais para o desempenho e a competitividade das operações manufatureiras. No atual cenário, em que a automação e a tecnologia assumem um papel cada vez mais relevante, a manutenção preditiva desponta

como uma estratégia essencial para garantir a longevidade e o funcionamento eficiente dos sistemas industriais.

A implementação de um sistema de monitoramento em tempo real para manutenção preditiva se justifica por diversos motivos. Primeiramente, essa abordagem possibilita a identificação precoce de falhas, o que resulta em uma redução significativa nos custos operacionais relacionados a paradas inesperadas e reparos emergenciais. Com o monitoramento contínuo do estado dos equipamentos, as empresas podem programar manutenções de forma estratégica, evitando interrupções na produção e maximizando a eficiência operacional.

Além disso, a vigilância constante de parâmetros críticos, como corrente e vibração, permite a detecção de desgastes e anomalias antes que se transformem em problemas graves. Essa prática não só prolonga a vida útil dos equipamentos, mas também garante que operem em condições ideais, promovendo um desempenho otimizado. A escolha do microcontrolador ESP8266, com suas capacidades de conexão Wi-Fi, reflete a intenção de incorporar tecnologias avançadas ao processo de manutenção, facilitando a coleta e transmissão de dados de maneira eficiente, tornando o sistema acessível e prático para os profissionais da área.

Outro ponto relevante é o desenvolvimento de um site que exibe dados em tempo real de forma clara e interativa. A visualização de informações como potência, voltagem, corrente e temperatura em dispositivos móveis fornece aos usuários uma ferramenta poderosa para o monitoramento e a gestão de ativos industriais. Essa inovação está alinhada com os princípios da Indústria 4.0, que prioriza a automação, a troca de dados em tempo real e a integração de tecnologias inteligentes. Ao desenvolver um sistema de monitoramento que utiliza sensores avançados e comunicação em tempo real, este TCC promove a modernização das práticas de manutenção industrial, impulsionando a inovação e a competitividade no setor.

O desenvolvimento do sistema de monitoramento envolve a coleta, transmissão e análise de dados de maneira contínua e imediata. Alguns aspectos essenciais desse processo incluem:

Utilização de sensores avançados, como módulos de corrente e sensores piezelétricos, para monitorar parâmetros críticos como corrente, vibração e temperatura; condicionamento e digitalização dos sinais dos sensores por meio de conversores analógicos-digitais; processamento dos dados brutos em um microcontrolador ou sistema embarcado.

Armazenamento dos dados em bancos de dados ou serviços de armazenamento em nuvem; processamento e análise para identificar padrões, tendências e anomalias;

desenvolvimento de painéis e gráficos interativos para visualização em tempo real; implementação de alertas e notificações para informar sobre eventos críticos ou falhas iminentes.

Manutenção preditiva de equipamentos industriais para reduzir paradas não planejadas e prolongar a vida útil dos equipamentos; detecção precoce de falhas, como curtos-circuitos, sobrecargas e desgastes de componentes; otimização dos processos de manutenção e redução de custos; melhoria da eficiência e competitividade das operações manufatureiras.

O desenvolvimento deste sistema de monitoramento em tempo real para manutenção preditiva não apenas aprimora a eficiência operacional, mas também contribui para a modernização das práticas industriais, oferecendo um diferencial competitivo por meio da integração de tecnologias inovadoras e práticas de manutenção avançadas.

1.3 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e implementar um sistema de monitoramento em tempo real para a manutenção preditiva de equipamentos industriais, utilizando uma combinação de sensores avançados, especificamente um sensor de corrente e um sensor piezelétrico, aliados a tecnologias de comunicação modernas. Este sistema visa detectar anomalias nos equipamentos, como curtos-circuitos, sobrecargas em motores, falta de fase e quedas de tensão, por meio do sensor de corrente, enquanto o sensor piezelétrico será utilizado para monitorar vibrações, permitindo a identificação de possíveis desgastes nos componentes.

Os dados coletados por esses sensores serão transmitidos em tempo real para um website desenvolvido especificamente para essa finalidade, utilizando o microcontrolador ESP8266, que oferece capacidades de conexão Wi-Fi. A página da Internet proporcionará uma interface intuitiva e de fácil acesso, onde os usuários poderão visualizar informações detalhadas e atualizadas sobre o estado dos componentes monitorados, incluindo dados cruciais como potência, voltagem, corrente e temperatura, além de gráficos e tendências históricas que facilitarão a identificação de padrões e a previsão de possíveis falhas.

Com a implementação deste sistema, busca-se não apenas a detecção precoce de falhas, mas também a otimização dos processos de manutenção, visando a redução de paradas não planejadas e o prolongamento da vida útil dos equipamentos. A combinação de sensores avançados e uma interface amigável no website tem o potencial de transformar a abordagem tradicional de manutenção industrial, oferecendo uma solução inovadora e eficaz para o monitoramento e a gestão dos ativos industriais, contribuindo assim para a eficiência e confiabilidade das operações manufatureiras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O tema sobre a manutenção preditiva abordado neste trabalho, vem com o objetivo de garantir uma segurança e estabilidade financeira para a empresa em relação as máquinas e suas manutenções recorrentes. Com uma página online de fácil manuseio, que exibe os dados gerais necessários para conferir o requerimento de uma manutenção futura.

A manutenção adiantada é crucial para a eficiência operacional, pois reduz custos com paradas inesperadas, aumentando também a vida útil dos equipamentos e melhorando a segurança no ambiente de trabalho. Ao monitorar o estado dos ativos, permite intervenções antes de falhas, garantindo a maximização da produtividade de forma ideal. Além disso, facilita o planejamento de manutenção

2.1 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é uma estratégia de gestão de ativos que visa monitorar o desempenho e a condição de equipamentos e maquinários ao longo do tempo, com o objetivo de prever falhas antes que elas ocorram. Essa abordagem é baseada na coleta e análise de dados em tempo real, permitindo que as empresas realizem intervenções programadas em vez de depender de manutenção corretiva – que é realizada após a falha –, ou manutenção preventiva – realizada em intervalos fixos. (Rahman et al. 2020)

A manutenção preditiva envolve diversos componentes essenciais para garantir seu funcionamento eficaz. O monitoramento contínuo é uma das principais características, utilizando sensores e tecnologias para coletar dados sobre a operação de equipamentos, como temperatura, vibração, pressão e desgaste. Esses dados são, então, analisados por softwares especializados que aplicam algoritmos e inteligência artificial para identificar padrões e tendências que possam sinalizar problemas iminentes. A partir dessa análise, é possível modelar o comportamento do equipamento e diagnosticar sua condição, permitindo prever a vida útil restante de componentes críticos. Com essas informações as equipes de manutenção podem tomar decisões mais informadas, planejando intervenções no momento mais adequado e, assim, minimizando o tempo de inatividade e os custos associados. (Santos; Ferreira, 2021)

Entre as vantagens da manutenção preditiva, destaca-se a redução de custos, uma vez que evita paradas inesperadas e reparos emergenciais, que costumam ser mais dispendiosos. Além disso, essa abordagem contribui para o aumento da disponibilidade dos equipamentos, mantendo-os operacionais por mais tempo e, conseqüentemente, aumentando a produtividade. Outro benefício importante é a segurança, pois a manutenção preditiva reduz o risco de falhas

catastróficas, melhorando as condições de trabalho. A otimização de recursos também é um fator relevante, permitindo um planejamento mais eficaz das atividades de manutenção e do uso de peças de reposição, evitando excessos ou faltas. Por fim, a manutenção preditiva contribui para a sustentabilidade, já que reduz o desperdício de recursos e materiais. (Ferreira; Lima, 2020)

As tecnologias utilizadas nessa estratégia incluem sensores IoT, que são dispositivos conectados que coletam dados em tempo real; análise de Big Data, que processa grandes volumes de dados para identificar tendências e padrões; inteligência artificial, que utiliza algoritmos para prever falhas com base em dados históricos; e softwares de gestão, que facilitam o monitoramento e a análise dos dados coletados. (Pereira; Santos, 2020)

Exemplos de aplicação da manutenção preditiva podem ser encontrados em diversos setores. Na indústria, máquinas de produção monitoram sua vibração e temperatura para prever falhas. No setor de transporte, há o monitoramento da condição de motores e sistemas de freios em veículos. Já no setor de energia, turbinas eólicas analisam dados de desempenho para prever a necessidade de manutenção. Essas aplicações ilustram como a manutenção preditiva pode ser uma estratégia eficaz e abrangente em várias áreas. (Nascimento; Freitas, 2019)

Juntamente da manutenção preditiva seguem as normas utilizadas para a aplicação da mesma. Essas normas fornecem diretrizes específicas para a implementação eficaz de estratégias de manutenção preditiva, garantindo que as empresas sigam procedimentos padronizados que assegurem a qualidade, a confiabilidade e a segurança dos equipamentos monitorados. A compreensão dessas normas é fundamental para o desenvolvimento de um sistema de manutenção preditiva robusto, que atenda aos requisitos técnicos e legais exigidos nos diferentes setores industriais. (Moblely, 2002)

A Norma Brasileira Regulamentadora nº 5462 (NBR nº 5462), publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), é uma norma que estabelece os princípios e definições fundamentais relacionadas à confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade de sistemas industriais. Seu foco está em fornecer uma base para que engenheiros, gestores processos industriais com um olhar mais atento à prevenção de falhas e a garantia de que os sistemas operacionais se mantenham em pleno funcionamento pelo maior tempo possível. A norma é essencial para qualquer setor que dependa de máquinas, equipamentos ou sistemas que precisam ser confiáveis e eficientes, como a indústria de manufatura, energia, petróleo e gás, telecomunicações, entre outros. (Silva; Almeida, 2020)

Confiabilidade é um dos conceitos centrais da NBR nº 5462, que se refere à probabilidade de que um sistema, equipamento ou componente desempenhe suas funções designadas de maneira contínua, sem falhas, por um determinado período e sob condições específicas. Para garantir essa confiabilidade, a norma orienta os profissionais a adotarem medidas que assegurem o bom funcionamento dos sistemas, considerando desde o planejamento inicial de um projeto até o acompanhamento contínuo de seu desempenho ao longo do tempo. A confiabilidade está intrinsecamente ligada ao conceito de disponibilidade, que indica a capacidade de um sistema estar operacional e disponível para uso quando necessário. A norma aborda de forma detalhada como esses dois conceitos se inter-relacionam e como devem ser geridos em ambientes industriais. (Ferreira; Gomes, 2021)

Outro ponto essencial abordado na norma é a manutenibilidade, que se refere à facilidade e à rapidez com que um sistema pode ser mantido ou reparado quando ocorre uma falha. A manutenibilidade é um aspecto crucial para a eficiência de uma operação, pois falhas inevitáveis podem ocorrer ao longo do tempo, mas sua rápida detecção e correção são fundamentais para minimizar o impacto sobre a produção ou o serviço. A norma enfatiza que uma boa estratégia de manutenção é aquela que prevê tanto a manutenção preventiva, que visa evitar falhas antes que ocorram, quanto a manutenção corretiva, que é realizada após a identificação de uma falha. (Santos; Lima, 2018)

A NBR nº 5462 também define o conceito de falha, que é entendido como a perda da capacidade de um sistema ou componente de executar suas funções de acordo com os requisitos estabelecidos. A norma classifica as falhas de diferentes maneiras, considerando sua gravidade, suas causas e suas consequências. Também introduz termos como taxa de falhas, que é a frequência com que as falhas ocorrem dentro de um determinado período, e o Tempo Médio Entre Falhas (MTBF), que é uma medida amplamente utilizada para avaliar a confiabilidade de um sistema, indicando o tempo médio de operação antes que uma falha ocorra. (Silva; Costa, 2019)

Outro termo importante descrito na norma é o Termo Médio para Reparação (MTTR), que quantifica o tempo necessário para reparar um sistema após é essencial para a análise da manutenibilidade, pois sistemas com tempos de reparo muito elevados podem comprometer significativamente a disponibilidade operacional. A norma propõe que as empresas adotem práticas de monitoramento contínuo para identificar as falhas de forma rápida e implementar soluções de reparo de maneira eficiente. (Rodrigues; Lima, 2019)

A aplicação da NBR nº 5462 é fundamental para melhorar a eficiência e a confiabilidade de sistemas industriais, proporcionam um ambiente operacional mais seguro e produtivo. Ao seguir as orientações da norma, as empresas podem reduzir os tempos de inatividade, melhorar a utilização de seus recursos, minimizar custos associados a reparos não planejados e garantir que seus sistemas estejam sempre operando em níveis ideais. Além disso, a norma incentiva uma abordagem proativa à manutenção, ajudando as organizações a prevenir problemas antes que estes se tornem críticos, e garantindo que os tempos de resposta sejam rápidos e eficazes quando ocorrerem falhas. (Silva; Almeida, 2020)

A *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Normalização) nº 17359:2018, ou ISO nº 17359:2018 é uma norma internacional que estabelece diretrizes para o monitoramento da condição de máquinas e equipamentos, com o objetivo de detectar precocemente falhas e prevenir problemas maiores. Intitulada “Monitoramento e Diagnóstico de Condição de Máquinas – Diretrizes Gerais”, ele é um guia para que indústrias e empresas estabeleçam programas eficazes de monitoramento preditivo, ajudando a prolongar a vida útil dos equipamentos e aumentar a confiabilidade das operações. (Rodrigues, Freitas, 2022)

O foco principal da ISO 17359:2018 está na prevenção de falhas por meio da identificação de padrões anômalos no funcionamento das máquinas, utilizando tecnologias de monitoramento de condição. Esse tipo de monitoramento é especialmente importante em indústrias que dependem de equipamentos complexos e de alto valor, como a geração de energia, petróleo e gás, manufatura e transporte. O objetivo é evitar paradas inesperadas ou falhas catastróficas, que podem resultar em prejuízos significativos e, em alguns casos, até em riscos à segurança. (Gonzalez; Silva, 2020)

A norma oferece um framework estruturado sobre como implantar o monitoramento de condição, recomendando que o processo inclua a serem monitorados, a definição de parâmetros de operação normais, a coleta de dados de forma contínua ou em intervalos regulares e, finalmente, a análise desses dados. O monitoramento pode ser feito de diversas formas, dependendo do tipo de máquina e da criticidade do sistema. (Martins; Santos, 2023)

Uma das formas mais comuns de monitoramento de condição é a análise de vibração, que detecta alterações nas frequências de operação que podem indicar problemas como desalinhamentos, desbalanceamento, folgas ou desgastes em rolamentos. A termografia também é uma técnica amplamente utilizada, especialmente para identificar problemas em sistemas elétricos, motores e até em circuitos de refrigeração, já que o aumento de

temperatura é um indicador clássico de falhas iminentes. Além dessas técnicas, a norma aborda outras metodologias, como análise de lubrificantes e ultrassom, que também podem ser empregadas para detectar problemas em estágio inicial. (Freitas; Almeida, 2020)

A ISO nº 17359:2018 recomenda que os programas de monitoramento sejam baseados em uma análise de criticidade dos equipamentos. Isso significa que nem todos os equipamentos precisam ser monitorados com o mesmo nível de detalhe. Equipamentos críticos, cuja falha pode causar grandes prejuízos ou comprometer a segurança, devem ter um acompanhamento mais intensivo e rigoroso. Já para equipamentos menos críticos, o monitoramento pode ser feito de forma mais espaçada ou com técnicas menos complexas. Essa abordagem ajuda as empresas a alocar recursos de maneira eficiente, focando nos pontos mais vulneráveis de seu processo produtivo. (Almeida; Silva, 2019)

Um aspecto importante da norma é a ênfase na interpretação correta dos dados. O monitoramento de condição gera uma grande quantidade de informações, mas, se os dados não forem analisados adequadamente, podem levar a diagnósticos incorretos. A ISO nº 17359:2018 sugere que a análise dos dados seja feita por profissionais qualificados, que compreendam não apenas as técnicas de monitoramento, mas também o funcionamento do equipamento em si. Isso permite identificar a causa raiz dos problemas de forma mais precisa, facilitando a tomada de decisões sobre manutenção e reparos. (Gonzalez; Lima, 2023)

A norma também destaca a importância de combinar diferentes métodos de monitoramento, em vez de confiar em uma única técnica. Por exemplo, a análise de vibração pode ser complementada por termografia e análise de lubrificantes para fornecer uma visão mais abrangente do estado de uma máquina. Essa abordagem multitécnica reduz o risco de falsos positivos ou falsos negativos, proporcionando uma avaliação mais precisa e confiável da condição dos equipamentos. (Silva; 2020)

Outro ponto relevante é que a ISO nº 17359:2018 incentiva a implantação de programas de monitoramento proativos, em vez de simplesmente reativos. Ou seja, ao invés de esperar que falhas ou sintomas graves apareçam, a norma propõe que o monitoramento seja usado como uma ferramenta preventiva. O objetivo é detectar as falhas nos seus estágios iniciais, quando as intervenções podem ser menos custosas e mais fáceis de implementar. (Lima; Santos, 2018)

A implementação de um programa de monitoramento de condição, conforme as diretrizes da ISO nº 17359:2018, traz uma série de benefícios para as empresas. Entre eles, destacam-se a redução dos custos de manutenção, já que intervenções corretivas podem ser

planejadas de maneira mais eficiente; o aumento da disponibilidade dos equipamentos, uma vez que falhas inesperadas são menos frequentes; e o aumento da segurança operacional, ao reduzir o risco de falhas catastróficas. Além disso, há um impacto positivo na longevidade dos ativos, já que a identificação precoce de problemas permite adotar ações corretivas que prolongam a vida útil das máquinas. (Rodrigues; Almeida, 2022)

A ISO nº 13372:2012, intitulada “Monitoramento e Diagnóstico de Condição de Máquinas – Terminologia”, estabelece uma base comum de terminologia usada no monitoramento e diagnóstico de máquinas. A norma foi desenvolvida para garantir que os profissionais da área de manutenção e confiabilidade, bem como outros envolvidos no gerenciamento de máquinas, utilizem uma linguagem consistente e clara, facilitando a comunicação e a implementação de práticas eficientes de monitoramento de condição e diagnóstico de falhas. (Silva; Lima, 2018)

No contexto do monitoramento de condição, o foco está na coleta e análise de dados sobre o desempenho de uma máquina, buscando identificar anomalias que possam ser precursores de falhas. O objetivo é detectar essas falhas potenciais em seus estágios iniciais, permitindo ações corretivas antes que se tornem problemas críticos, o que minimiza o tempo de inatividade e os custos de reparo. A ISO nº 13372:2012 padroniza os termos usados para descrever esses processos, eliminando ambiguidades que poderiam surgir do uso de terminologias diferentes em várias indústrias e países. (Lima; Costa, 2019)

A norma oferece definições de termos importantes como monitoramento de condição, diagnóstico de falhas, análise de vibração, termografia, análise de óleo, entre outros. Esses termos são essenciais para qualquer programa de manutenção preditiva, que visa prever quando uma falha pode ocorrer com base nos dados de monitoramento e assim, planejar a manutenção de forma mais eficaz. (Lima; Santos, 2019)

No monitoramento de condição, o termo se refere à observação contínua ou periódica de parâmetros físicos (como vibração, temperatura ou análise de lubrificantes) para determinar se uma máquina está operando dentro de limites aceitáveis. Essa coleta de dados pode ser realizada de maneira contínua ou em intervalos definidos, dependendo da criticidade do equipamento e do processo produtivo. Por sua vez, o diagnóstico de falhas trata de identificar a causa de um problema já detectado por meio do monitoramento de condição. Esse diagnóstico pode envolver uma análise detalhada do comportamento da máquina de uma comparação com o histórico de operação para determinar a origem da falha. (Lima; Costa, 2019)

Um dos métodos mais utilizados no monitoramento de condição é a análise de vibração, que permite detectar problemas como desbalanceamento, desalinhamento, folgas e desgastes em componentes rotativos. A norma define claramente os termos associados à análise de vibração, permitindo que engenheiros e técnicos interpretem os dados de forma padronizada. De maneira semelhante, a termografia, que envolve o uso de imagens térmicas para identificar variações de temperatura, é outra técnica crucial para detectar problemas em sistemas elétricos e mecânicos antes que ocorram falhas. (Silva; Lima, 2018)

Outro aspecto importante de norma é a definição de termos relacionados à manutenção preditiva. A manutenção preditiva é um conceito-chave na gestão de ativos, pois permite que as intervenções de manutenção sejam programadas com base no real estado da máquina, em vez de em intervalos de tempo fixos. Isso não só melhora a eficiência, como também reduz o risco de falhas catastróficas, maximizando a vida útil dos equipamentos. (Pereira; Santos, 2020)

Além disso, a ISO nº 13372:2012 enfatiza a importância da precisão nos dados coletados e da correta interpretação dessas informações para que o diagnóstico de falhas seja o mais eficiente possível. A padronização dos termos evita mal-entendidos que poderiam comprometer a integridade de um programa de manutenção preditiva, especialmente em ambientes industriais complexos onde diferentes sistemas de monitoramento são usados simultaneamente. (Martins; Oliveira, 2023)

Outro ponto destacado pela norma é que, além das definições técnicas, ela permite a harmonização entre diferentes indústrias, garantindo que todos utilizem as mesmas referências ao descrever os sintomas de falhas ou os processos de monitoramento e diagnóstico. Isso é particularmente útil em ambientes multinacionais ou quando se trabalha com fornecedores e parceiros que podem utilizar diferentes abordagens ou tecnologias. (Martins; Oliveira, 2024)

2.2 Sensores

Um sensor é um dispositivo que detecta alterações no ambiente e as converte em sinais elétricos ou digitais utilizáveis, transformando grandezas físicas ou químicas, como luz, temperatura, pressão ou movimento, em informações interpretáveis por sistemas eletrônicos. (Dereniak; Boreman, 2019)

Os sensores são essenciais em dispositivos modernos, desde smartphones a sistemas industriais, funcionando como "sentidos" que permitem às máquinas perceber e reagir ao ambiente em tempo real. Eles consistem em três componentes principais: o elemento sensor, que detecta o estímulo físico; o transdutor, que converte o estímulo em sinais elétricos ou

digitais; e, em alguns casos, um circuito de processamento que amplifica e ajusta o sinal, garantindo maior precisão e confiabilidade. (Pallas-Areny; Webster, 2020; Gonzalez; Woods, 2021)

Sensores são classificados conforme a grandeza que medem. Sensores de temperatura, como termopares e termistores, detectam variações térmicas e são usados em dispositivos médicos e industriais. Sensores de pressão monitoram forças em sistemas hidráulicos e motores automotivos. Sensores de luz, como fotodiodos, ajustam dispositivos conforme a intensidade luminosa. Sensores de movimento, como acelerômetros e giroscópios, medem aceleração e rotação em smartphones e drones. Sensores de proximidade detectam objetos sem contato, enquanto sensores de som, como microfones, capturam ondas sonoras. (Camacho; Garcia, 2018; Wu; Lee; Yang, 2019; Fraden, 2021)

No contexto do projeto, foram utilizados três sensores principais:

1. **ACS712 (30A):** Sensor de corrente que utiliza o efeito Hall para converter correntes elétricas em sinais proporcionais. É adequado para medir corrente alternada (AC), gerando uma tensão de saída que varia com a corrente detectada. Este sinal é processado por microcontroladores para aplicações como monitoramento energético e automação, sendo amplamente utilizado em sistemas solares e medidores de energia. (Jones, 2012; Hedge, 2018)
2. **Sensor Piezoelétrico:** Capta estímulos mecânicos, como vibração ou impacto, e os converte em sinais elétricos. Baseado na propriedade de certos materiais que geram tensão quando deformados, é usado em aplicações como monitoramento estrutural e automação, detectando alterações no ambiente de forma precisa. (McKay, 2015; Meer, 2017)

Os sensores transformam grandezas físicas em dados utilizáveis, funcionando como ferramentas indispensáveis em sistemas modernos. Sua integração permite monitoramento e controle em tempo real, otimizando processos e garantindo maior eficiência e segurança em aplicações diversas. (Thukral, 2018)

2.3 ESP32

Um microcontrolador é um circuito integrado compacto e eficiente que atua como o "cérebro" em dispositivos eletrônicos, integrando CPU, memória e interfaces de entrada/saída (I/O) em um único chip. Diferente de um microprocessador, que requer componentes externos como RAM e ROM, o microcontrolador já incorpora esses elementos, oferecendo uma solução completa para sistemas eletrônicos. (Margolis, 2011)

A CPU é o núcleo responsável por executar instruções e processar dados. Microcontroladores frequentemente utilizam a arquitetura RISC (Reduced Instruction Set Computing), que otimiza a execução de instruções básicas, tornando-os rápidos e eficientes. A memória inclui RAM, volátil e usada para dados temporários, e Flash, não volátil, que armazena o firmware do dispositivo. (Zhao, 2022; Guimarães, 2020)

As interfaces de entrada e saída conectam o microcontrolador ao ambiente externo, permitindo interação com sensores e atuadores. Periféricos internos, como temporizadores, conversores A/D e protocolos de comunicação (UART, SPI, I2C), ampliam suas funcionalidades e simplificam a integração com outros dispositivos. (Kassouf, 2024; Cardoso, 2020)

O microcontrolador opera seguindo um programa armazenado em sua memória. O ciclo de funcionamento envolve captura de entradas, processamento pela CPU e envio de comandos a dispositivos externos, repetindo-se em loop contínuo. Este ciclo permite aplicações variadas, como controle de LEDs, motores e displays. (Braga, 2001; Zhao, 2022)

Microcontroladores são usados em aplicações domésticas, automotivas, médicas e industriais. Suas vantagens incluem compactação, baixo custo, eficiência energética e facilidade de programação, tornando-os ideais para projetos como automação, dispositivos portáteis e Internet das Coisas (IoT). Exemplos populares incluem o Arduino (Atmega328), ESP8266 e ESP32, bem como os PIC e ARM Cortex. (Fleischer, 2023; Mazini, 2016; H. I. et al., 2018)

No TCC em questão, foi utilizado o ESP32, um microcontrolador projetado para IoT, com conectividade Wi-Fi/Bluetooth integrada, baixo custo e alta versatilidade. Ele é baseado em um processador de 32 bits, arquitetura Tensilica L106, com frequência de até 240 MHz, 25 GPIOs, e memória RAM de 520 kB e Flash de 4 MB. Sua conectividade suporta modos Station (STA) e Access Point (AP), essenciais para automação e monitoramento remoto. (D. et al., 2020; L. et al., 2019)

O ESP32 é programável em linguagens como C++ (via Arduino IDE) e MicroPython, oferecendo flexibilidade para desenvolvedores. Destaca-se pelo baixo consumo de energia, com modos como deep sleep, que prolongam a vida útil da bateria em projetos de longa duração. Suas aplicações incluem controle de dispositivos via smartphone, automação residencial e sistemas de monitoramento, sendo fundamental no desenvolvimento de redes IoT inteligentes. (Kolban, 2018; Margolis, 2019; Eichhorn, 2021)

3 MÉTODO

3.1 Descrição Geral

Esta seção descreve os métodos e processos utilizados para a execução do projeto, detalhando as técnicas de coleta de dados, ferramentas empregadas e os critérios de análise. O objetivo é assegurar que os procedimentos aplicados sejam replicáveis, permitindo a verificação e validação dos resultados obtidos.

3.2 Tipo de Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como quantitativa, aplicada e experimental, visto que lida com dados numéricos de vibração e corrente (gerados pelos sensores), os dados coletados serão usados para identificar padrões, definir limites de normalidade, e reconhecer desvios que possam indicar falhas. Envolve também, pesquisa experimental, pois, contém a criação de um protótipo, testes com sensores e validação do sistema em condições controladas, para verificar a capacidade do protótipo de detectar anomalias que indicam falhas. Por último, possui também a pesquisa aplicada, cujo a mesma, busca resolver um problema prático e tem aplicação direta na indústria, no caso, prever falhas em máquinas industriais e, assim, reduzir custos com manutenção corretiva e evitar paradas não planejadas.

3.3 Procedimentos e Técnicas de Coleta de Dados

A coleta de dados foi realizada por meio do sensor de corrente ACS712 e um sensor piezoelétrico. A simulação desses componentes foi feita de maneira totalmente prática, em consequência da falta de componentes nos simuladores online, como Tinkercad por exemplo. Sendo utilizado apenas a plataforma Arduino IDE, para registrar as leituras com o auxílio da placa ESP32.

O procedimento realizado para a coleta dos dados, foi aderido por meio do *efeito hall* – que ocorre no momento em que uma eletricidade em um material é desviada por um campo magnético, “empurrando” as cargas para um canto, com isso, é possível calcular informações como, potência, tensão, corrente, consumo de energia –, e também, o sensor piezoelétrico – que capta vibrações e transforma em sinais elétricos, e por meio das vibrações, estipular um padrão para o maquinário, e identificar possíveis falhas físicas –, por meio desses equipamentos, são os dados em tempo real.

3.4 Procedimentos de Análise dos Dados

Os dados coletados foram analisados para identificar padrões de vibração correspondentes a diferentes condições operacionais. A interface processa e compara esses dados com uma média pré-definida, detectando desvios que indicam falhas.

Com base nos padrões obtidos pelo sensor piezoelétrico, as frequências foram analisadas para identificar potenciais falhas, comparando o funcionamento normal com situações de avaria. Os resultados são exibidos em uma interface HTML, mostrando o estado atual do equipamento de forma clara e organizada.

3.5 Desenvolvimento do Projeto

O projeto criou um sistema de monitoramento em tempo real com ESP32, configurado como um ponto de acesso Wi-Fi com SSID “Augusto” e senha “12345678”. Conectado via navegador, o ESP32 exibe uma página HTML com dados dos sensores.

Os sensores medem corrente (pino 34) e vibração (pino 35). As leituras são processadas periodicamente, utilizando filtro de média para corrente e média ponderada para vibração, aumentando a precisão e reduzindo oscilações.

A interface exibe valores de corrente, potência, vibração e energia acumulada. Alertas são gerados quando valores ultrapassam os limites definidos no código. O layout, embora simples, foi aprimorado com estilos CSS embutidos, incluindo faixas de status para indicar anormalidades.

O sistema inicia configurando o ponto de acesso e o servidor web, disponibilizando o endereço IP no monitor serial. No loop principal, atualiza os dados em tempo real para monitoramento contínuo e confiável.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Introdução à Seção

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos durante o desenvolvimento e teste do protótipo de manutenção preditiva. Os dados capturados pelo sensor de vibração piezoelétrico e corrente elétrica são analisados e exibidos em uma interface HTML, e os resultados são discutidos à luz dos objetivos do trabalho e das condições simuladas. Além disso, são avaliados as limitações e os possíveis aperfeiçoamentos do sistema.

4.2 Apresentação dos Resultados

Os valores capturados em diferentes condições operacionais estão apresentados na *Tabela 1*. Os dados apresentados de acordo com a *Tabela 1*, seguem a referencial proposta na *Figura 1*.

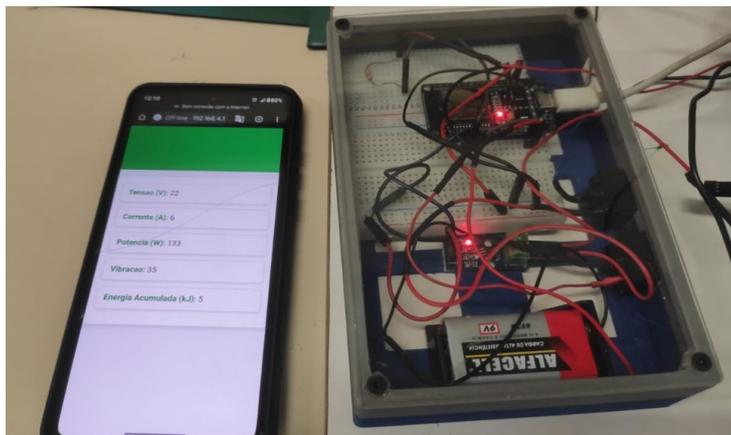
Tabela 1. Tabela de dados.

Tabela 1		
Grandezas	Resultados	Unidade
Tensão	22	volts (V)
Corrente	6	amperes (A)
Potência	133	watts (W)
Vibração	35	hertz (Hz)
Energia Acumulada	5	joule (J)

Fonte: Acervo dos autores.

Figura 1., que ilustra o protótipo em funcionamento.

Figura 1. Protótipo de Funcionamento.



Fonte: Acervo dos autores.

4.3 Análise dos Resultados

A análise dos resultados confirmou a eficácia do sistema na coleta e apresentação de dados em tempo real. Os valores de corrente, potência e vibração foram monitorados de forma consistente, com reatividade às condições fora dos limites estabelecidos, incluindo alertas visuais na interface que facilitaram a identificação imediata de anomalias. Esses recursos contribuíram para a manutenção preditiva e a segurança operacional.

A interface web demonstrou funcionalidade e clareza, permitindo uma visualização organizada dos dados e garantindo confiabilidade na detecção de condições anormais. Contudo, testes em diferentes cenários revelaram limitações na sensibilidade dos sensores, particularmente em ambientes com ruído elétrico ou vibração excessiva. O tempo de resposta foi satisfatório, mas pode ser aprimorado com otimizações no processamento e na comunicação entre os componentes.

De forma geral, os resultados validam o sistema como ferramenta prática de monitoramento. Melhorias na calibração dos sensores e na compactação do protótipo ampliarão sua eficiência e aplicabilidade em ambientes industriais.

4.4 Discussão Crítica

O projeto destacou-se pela aplicação prática de tecnologias modernas, como o ESP32, e pelo desenvolvimento de uma interface acessível e funcional, útil para diagnósticos rápidos e precisos. O uso de simulações reduziu custos e riscos associados a equipamentos reais, evidenciando segurança e viabilidade. O sistema mostrou potencial para aplicações industriais, onde o monitoramento de vibração, corrente e potência é essencial para prevenir falhas e otimizar a eficiência.

Entre as limitações, ressalta-se o uso exclusivo de dados simulados, que podem não refletir plenamente as condições reais de operação. A simplicidade do sistema restringe sua aplicação em cenários mais complexos, que exigem maior capacidade analítica e integração com outros dispositivos. A dependência da rede Wi-Fi pode ser um desafio em locais com conectividade limitada, e a ausência de alertas automatizados, como notificações críticas, reduz a eficiência em situações que demandam intervenções rápidas.

Como melhorias, a inclusão de um sensor de temperatura expandirá o diagnóstico para sobreaquecimento, complementando os dados de vibração e corrente. O desenvolvimento de algoritmos robustos e ferramentas de aprendizado de máquina permitirá prever falhas com maior precisão, além de gerar relatórios automáticos e detalhados. A interface web pode ser

modernizada com gráficos dinâmicos em tempo real e design responsivo para maior praticidade. Reduzir o tamanho do protótipo tornará o sistema mais compacto e aplicável em ambientes com restrições de espaço, enquanto a personalização de sensores possibilitará o uso em uma variedade maior de maquinários e cenários industriais.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um protótipo de manutenção preditiva, utilizando sensores de vibração e corrente para identificar falhas em máquinas industriais e enviar os dados em tempo real a um website. Os resultados demonstraram a eficácia do protótipo na detecção de anomalias mecânicas e elétricas, com alta precisão na identificação de vibrações e sobrecargas em condições simuladas. Os dados foram exibidos em tempo real no site criado, permitindo monitoramento contínuo e alertas de falhas potenciais.

O projeto contribui para a manutenção preditiva ao oferecer uma solução acessível e escalável para o monitoramento de máquinas industriais, alinhada ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 9, que promove inovação, industrialização sustentável e infraestrutura resiliente. A integração dos sensores com um aplicativo em tempo real moderniza processos industriais, reduzindo falhas inesperadas e promovendo operações mais eficientes e sustentáveis.

Apesar dos resultados positivos, o protótipo apresentou limitações, como baixa sensibilidade do sensor de vibração em amplitudes reduzidas e interferências de ruídos externos. Além disso, os testes foram realizados em ambiente simulado, sem aplicação em máquinas reais.

Sugere-se, para pesquisas futuras, o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para maior precisão na previsão de falhas, testes em condições reais de fábrica e a criação de um banco de dados para análise detalhada de desempenho e padrões que aprimorem a manutenção preditiva.

Em conclusão, o trabalho atingiu seus objetivos ao desenvolver um protótipo funcional, contribuindo para a eficiência e segurança industrial. Alinhado ao O.D.S. nº 9, a iniciativa apoia processos inteligentes que reduzem desperdícios, aumentam a produtividade e incentivam práticas sustentáveis. Espera-se que os resultados inspirem novos avanços na área.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

AZEVEDO, Thiago Calabreze de; MOREIRA, Melkzedekue de Moraes Alcântara Calabreze; MOSCONI, Denis; NORDI, Tiago Mathes; SILVEIRA, Samuel Ricardo da; SOARES, Igor Nazareno; SOUSA, Felipe Schiavon Inocência de. Engenharia de manutenção: uma revisão de indicadores de manutenção e suas inter-relações. 2021. Disponível em:

<https://repositorio.usp.br/directbitstream/d55dd33b-4a74-494d-b1cd-3963507e059c/3175-8992-1-PB.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2024.

BALLERINI, Raffaella. 5 minutos de HTML para iniciar em programação! 2020. Disponível em: <https://youtu.be/3oSIqIqzN3M?si=h-iMH5qXbgpk2y9G>. Acesso em: 6 dez. 2024.

BRAGA, Newton C. Interfaceando microcontroladores. 2024. Disponível em:

<https://www.newtoncbraga.com.br/microcontroladores/143-tecnologia/8868-interfaceando-microcontroladores-mic096.html>. Acesso em: 6 dez. 2024.

CARDOSO, Rodolfo; COLOMBO, Danilo; MARINHO, Raquel Maia Forte; SOUZA, Fernando Eirado; TAMMELA, Iara. Integrando conceitos de mantabilidade e regras de interpretação na CBM: revisão sistemática da literatura. 2022. Disponível em:

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/45918>. Acesso em: 6 dez. 2024.

CHIRINOS, J. De acordo com a ISO 17359:2018, como otimizar o plano de monitoramento de condições. 2019. Disponível em: <https://pabelon.com/iso-17359-monitoreo-condicion/>. Acesso em: 6 dez. 2024.

CODANDO, Gimmi. Todas as tags HTML que você precisa saber. 2021. Disponível em: <https://youtu.be/-FQP7hD-J6A?si=vDZ64f7g2bui0-up>. Acesso em: 6 dez. 2024.

DRUMOND, Bruno. Engenharia adequada: máquinas e equipamentos conforme a NR12. 2024. Disponível em: <https://adequada.eng.br/manutencao-preditiva/>. Acesso em: 6 dez. 2024.

EQUIPE TOTVS. Manutenção preditiva: o que é, como funciona, vantagens e dicas. 2021. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/manutencao-preditiva/>. Acesso em: 6 dez. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13372: condition monitoring and diagnostics of machines – vocabulary. 2012. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/52256/408487ee05b7426cb018969aaa12e98d/ISO-13372-2012.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 17359: condition monitoring and diagnostics of machines – general guidelines. 2018. Disponível em: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/71194/c551f4c170654bb19be2ee017d144969/ISO-17359-2018.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2024.

JACK, Aaron. HTML in 5 minutes. 2020. Disponível em: https://youtu.be/saY_Sm6mv4?si=0hZmy-ykWhmVgy2f. Acesso em: 6 dez. 2024.

KOYANAGI, Fernando. Introdução à programação do ESP32. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=y6SADxZ0qSw>. Acesso em: 6 dez. 2024.

LEE, J.; WU, Y.; YANG, H. Perovskites solar cells: a new emerging technology. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/7fGqwHXzFZwLMr8X6vMhVZR/>. Acesso em: 6 dez. 2024.

LX ELETRÔNICA. Comunicação ESP WiFi com Interface. 2024. Disponível em: <https://youtu.be/PfiN0BfIFBs?si=2fBEEAzcaru1al6d>. Acesso em: 6 dez. 2024.

MELO, João L. G. G. Microcontrolador PIC 18F452 / Proteus. 2011. Disponível em: <https://www.eletrica.ufpr.br/james/Laboratorio%20V/arquivos/Mini%20Curso%20Microcontrolador.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2024.

- MENDONÇA, Alexandre; ZELENOVSKY, Ricardo. Arquitetura de microcontroladores modernos. 2020. Disponível em: https://www.mzeditora.com.br/artigos/mic_modernos.htm. Acesso em: 6 dez. 2024.
- MMTEC. Conheça os tipos de falhas na indústria e saiba como evitá-las. 2020. Disponível em: <https://www.mmtec.com.br/conheca-os-tipos-de-falhas-na-industria-e-saiba-como-evita-las/>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- PATRANABIS, D. Sensors and transducers. 2. ed. Nova Deli: Prentice Hall of India, 2004. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Sensors-Transducers-D-Patranabis/dp/8120321987>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- ROBERT BOSCH LTDA. Sensores: a relevância da tecnologia para um mundo conectado. 2021. Disponível em: <https://www.bosch.com.br/noticias-e-historias/aiot/sensores-em-um-mundo-conectado/>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- ROMÃO, Danilo. Os 3 tipos de disponibilidade industrial (segundo a NBR 5462). 2022. Disponível em: <https://engeteles.com.br/os-3-tipos-de-disponibilidade-industrial-segundo-a-nbr-5462/>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- SANTOS, Lucas. Detecção e predição de falhas em equipamentos industriais via aprendizado de máquina. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/items/57351f8c-bd8c-4a5a-88e5-624d99142306>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- SATY, Adriana. HTML + CSS na prática. 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=n_Etdr7Dbjs. Acesso em: 6 dez. 2024.
- SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. Establishment of a maintenance plan based on quantitative analysis in the context of the MCC in a JIT production scenario. Production, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/prod/a/xNCjWWWVn3CQLx83dsbNXhv/>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- SEIDEL, Álysson Raniere. Instrumentação aplicada. 2010. Disponível em: https://www.ufsm.br/app/uploads/sites/413/2018/11/18_instrumentacao_aplicada.pdf. Acesso em: 6 dez. 2024.
- SHACKELFORD, James F. Ciência dos materiais. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. Disponível em: <https://www.amazon.com.br/Ci%C3%Aancia-dos-materiais-James-Shackelford/dp/8576051605>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- SOBRAL, Mateus de Melo. Sistema de monitoramento remoto de consumo de energia e temperatura em racks de datacenter. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/bitstream/235/7577/1/MateusSobral.pdf>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- STRAUB, Matheus G. ESP32: projeto com sensor de fluxo de água para monitoramento via WiFi. 2020. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/blog/esp32-projeto-com-sensor-de-fluxo-de-agua-para-monitoramento-via-wifi/>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- TELES, Jhonata. Manutenibilidade: o que é e como ela pode te ajudar. 2017. Disponível em: <https://engeteles.com.br/manutenibilidade/>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- UMOV.ME. NBR 5462: mais eficiência na gestão de manutenção. 2024. Disponível em: <https://www.umov.me/nbr-5462-e-gestao-de-manutencao/>. Acesso em: 6 dez. 2024.
- VENDRAMETTO, Marlon B. Automação residencial utilizando microcontrolador Arduino e aplicativo móvel. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

Disponível em:

https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16818/1/PG_COADS_2018_2_07.pdf.

Acesso em: 6 dez. 2024.

VEDAN, Alex. Manutenção preditiva offline e online: qual escolher? S.d. Disponível em:

<https://tractian.com/blog/manutencao-preditiva-offline-e-online-qual-escolher>. Acesso em: 6 dez. 2024.

WEBSITE LEARNERS. How to make a website using HTML and CSS. 2023. Disponível

em: <https://www.youtube.com/watch?v=sWoMNeHRcnk>. Acesso em: 6 dez. 2024.