



INSTITUTO FEDERAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE PERNAMBUCO  
Campus Caruaru  
Curso de Engenharia Mecânica

LUANA PATRICIA ALVES OLIVEIRA

**MANUTENÇÃO PREDITIVA APLICADA AO PAINEL ELÉTRICO DE MÁQUINA DE  
CORTE USADA NA FABRICAÇÃO DE CHICOTES ELÉTRICOS**

Caruaru – PE

2023

LUANA PATRICIA ALVES OLIVEIRA

**MANUTENÇÃO PREDITIVA APLICADA AO PAINEL ELÉTRICO DE MÁQUINA DE  
CORTE USADA NA FABRICAÇÃO CHICOTES ELÉTRICOS**

Trabalho de conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Mecânica do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de  
Pernambuco – Campus Caruaru, como  
requisito para a obtenção do título de  
Bacharela em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Manoel de  
Sousa

Caruaru – PE

2023

O48m

Oliveira, Luana Patricia Alves

Manutenção preditiva aplicada ao painel elétrico de máquina de corte usada na fabricação de chicotes elétricos/ Luana Patricia Alves Oliveira; orientação de José Manoel de Sousa. – Caruaru, 2023.  
63 f.

Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, 2023.

1. Manutenção preditiva – Componente automotivo. 2. Manutenção elétrica – Chicote automotivo. 3. Painel elétrico – Detecção de distúrbios. 4. Painel elétrico – Temperatura. 5. Painel elétrico – Alerta de falha. 6. Componente automotivo – Falhas – Prevenção. 7. Chicote automotivo – Eficiência operacional. 8. Engenharia Mecânica - IFPE. I. Sousa, José Manoel de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. III. Trabalho de Conclusão de Curso. IV. Título.

CDD: 621.816

CDU: 621

Luana Patrícia Alves Oliveira

**MANUTENÇÃO PREDITIVA APLICADA AO PAINEL ELÉTRICO DE MÁQUINA DE  
CORTE USADA NA FABRICAÇÃO CHICOTES ELÉTRICOS**

Trabalho de conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Mecânica do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia de  
Pernambuco – Campus Caruaru, como  
requisito para a obtenção do título de  
Bacharela em Engenharia de Mecânica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e APROVADO em 22 de setembro de  
2023 pela banca examinadora:

---

José Manoel de Sousa  
Orientador

---

Diniz Ramos de Lima Júnior  
Examinador

---

Niédson José da Silva  
Examinador

Caruaru – PE

2023

A minha família pelo apoio constante e por acreditarem em mim, este trabalho é dedicado a vocês.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha sincera gratidão a todos que contribuíram para a conclusão deste trabalho. Sem o apoio e orientação deles, este TCC não teria sido possível.

Agradeço a Deus por me dar sabedoria e perseverança necessárias ao longo desta jornada acadêmica.

Quero agradecer a minha família, em especial a minha mãe Marlí, por seu constante incentivo e apoio. Sem ela eu não teria chegado até aqui.

Agradecer ao meu orientador, José Manoel de Sousa, por sua orientação ao longo de todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos professores do curso de Engenharia Mecânica, que compartilharam seus conhecimentos e proporcionaram um ambiente propício para aprendizado e crescimento acadêmico.

Não posso deixar de mencionar os meus colegas de trabalho que ajudaram na implementação do projeto, cujas participações e colaboração foram essenciais para a coleta de dados e a obtenção de resultados significativos.

Este trabalho representa não apenas o resultado do meu esforço, mas também o resultado de todos aqueles que estiveram ao meu lado ao longo dessa jornada. Sintam-se todos parte importante deste resultado.

Muito obrigada!

*“O sucesso é a soma de pequenos  
esforços repetidos dia após dia.”*

*Robert Collier*

## RESUMO

O presente trabalho consiste em uma pesquisa aplicada realizada em uma empresa específica, para solucionar problemas reais relacionados à manutenção de um painel elétrico. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e quantitativa, fazendo uso de fontes bibliográficas, documentais e de campo para obter os dados necessários. A empresa X que serviu de base para o estudo é uma fabricante independente líder no setor de componentes automotivos, conhecida por sua excelência na produção de chicotes automotivos e uma variedade de outros produtos de alta qualidade para o setor automotivo. O objetivo principal do projeto é coletar dados em tempo real sobre a temperatura do painel elétrico e armazená-los em um banco de dados na nuvem. Isso permite a análise do comportamento da máquina e a detecção de distúrbios, possibilitando ações preventivas antes que ocorra uma falha. Quando a temperatura ultrapassa o limite estabelecido pelo fabricante, um e-mail de alerta é automaticamente enviado, permitindo verificações e intervenções imediatas. Para armazenar os dados, utiliza-se o banco de dados em tempo real do Firebase, e a plataforma IFTTT é empregada para estabelecer a conexão e enviar o e-mail de alerta. Com essa abordagem, o projeto busca garantir a coleta contínua de dados precisos de temperatura do painel elétrico, permitindo uma análise aprofundada e a detecção proativa de possíveis falhas. Os resultados obtidos com a implementação desse projeto demonstram a importância das práticas preditivas e do uso de tecnologias avançadas na gestão de ativos e na busca pela eficiência operacional. Houve uma redução significativa nos custos de manutenção, assim como um impacto positivo na disponibilidade e confiabilidade da máquina. A identificação precoce de falhas e a implementação de ações preventivas evitam paradas não programadas e interrupções na produção, aumentando a capacidade produtiva da empresa e melhorando sua eficiência e confiabilidade. Além dos benefícios financeiros e operacionais, a implementação da Manutenção Preditiva também contribui para a imagem da empresa. Ao adotar práticas modernas e tecnologias avançadas, a organização demonstra seu compromisso com a eficiência, qualidade e sustentabilidade. Isso fortalece sua posição no mercado, tornando-a mais competitiva e conquistando a confiança e fidelidade dos clientes.

**Palavras-chave:** Manutenção; Painel elétrico; Dados em tempo real; Prevenção de falhas; Eficiência operacional.

## ABSTRACT

This work consists of an applied research conducted in a specific company, to solve real problems related to the maintenance of an electrical panel. The research adopted a qualitative and quantitative approach, using bibliographic, documentary, and field sources to obtain the necessary data. Company X, which served as the basis for the study, is a leading independent manufacturer in the automotive components sector, known for its excellence in producing automotive whips and a variety of other high-quality products for the automotive industry. The main objective of the project is to collect real-time data on the temperature of the electrical panel and store it in a cloud database. This allows for the analysis of the machine's behavior and the detection of disturbances, enabling preventive actions before a failure occurs. When the temperature exceeds the limit established by the manufacturer, an alert email is automatically sent, allowing for immediate checks and interventions. The Firebase real-time database is used for data storage, and the IFTTT platform is employed to establish the connection and send the alert email. With this approach, the project aims to ensure continuous collection of accurate temperature data from the electrical panel, enabling in-depth analysis and proactive detection of potential failures. The results obtained from implementing this project demonstrated the importance of predictive practices and the use of advanced technologies in asset management and the pursuit of operational efficiency. There was a significant reduction in maintenance costs, as well as a positive impact on the availability and reliability of the machine. Early identification of faults and the implementation of preventive actions prevented unplanned stops and interruptions in production, increasing the company's production capacity and improving its efficiency and reliability. In addition to the financial and operational benefits, the implementation of Predictive Maintenance also contributed to the company's image. By adopting modern practices and advanced technologies, the organization demonstrated its commitment to efficiency, quality, and sustainability. This strengthened its position in the market, making it more competitive and gaining the trust and loyalty of customers.

**Keywords:** Maintenance; Electrical panel; Real-time data; Failure prevention; Operational efficiency.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Tipos de manutenção de acordo com a engenharia de manutenção..... | 25 |
| Figura 2 – Chicote elétrico.....                                             | 26 |
| Figura 3 – Máquina de corte e crimpagem Komax 355 .....                      | 29 |
| Figura 4 – Microcontrolador ESP32 .....                                      | 33 |
| Figura 5 – Sensor DHT22 .....                                                | 34 |
| Figura 6 – Tela do Firebase .....                                            | 46 |
| Figura 7 – Tela do e-mail.....                                               | 46 |
| Figura 8 – Gráfico das temperaturas médias obtidas no período avaliado.....  | 47 |
| Figura 9 – Custo antes da implantação do projeto .....                       | 50 |
| Figura 10 – Custo depois da implantação do projeto .....                     | 50 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Tipos de manutenção x política de manutenção ..... | 21 |
| Tabela 2 – Custos envolvidos no projeto .....                 | 48 |

## SUMÁRIO

|                                                      |           |
|------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                            | <b>13</b> |
| <b>2 OBJETIVOS .....</b>                             | <b>16</b> |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....                              | 16        |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                      | 16        |
| <b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                 | <b>17</b> |
| 3.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO .....                     | 17        |
| 3.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO .....                    | 19        |
| 3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO .....                        | 20        |
| 3.3.1 Manutenção corretiva.....                      | 21        |
| 3.3.1.1 Manutenção corretiva não planejada.....      | 22        |
| 3.3.1.2 Manutenção corretiva planejada.....          | 22        |
| 3.3.2 Manutenção preventiva .....                    | 23        |
| 3.3.3 Manutenção preditiva .....                     | 23        |
| 3.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO .....                   | 24        |
| 3.5 CHICOTES ELÉTRICOS.....                          | 27        |
| 3.5.1 Definição .....                                | 27        |
| 3.5.2 Processos de fabricação .....                  | 28        |
| 3.5.3 Máquina de corte e crimpagem komax 355.....    | 30        |
| 3.5.4 Manutenção preditiva em painéis elétricos..... | 31        |
| 3.5.5 Montagem do protótipo/equipamentos .....       | 32        |
| 3.5.5.1 IoT/Automação .....                          | 32        |
| 3.5.5.2 Microcontrolador ESP32.....                  | 33        |
| 3.5.5.3 Sensor DHT22.....                            | 35        |
| 3.5.5.4 Ambiente de programação IDE Arduino .....    | 36        |
| <b>4 METODOLOGIA .....</b>                           | <b>38</b> |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....                 | 38        |
| 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA .....                  | 39        |
| 4.3 PAINEL ELÉTRICO.....                             | 40        |
| <b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                | <b>43</b> |
| 5.1 FIREBASE.....                                    | 43        |
| 5.2 IFTTT.....                                       | 44        |

|                                         |           |
|-----------------------------------------|-----------|
| 5.3 ARDUINO .....                       | 45        |
| 5.4 INTEGRAÇÃO IFTTT E ARDUINO .....    | 46        |
| 5.5 RESULTADOS APÓS APLICAÇÃO .....     | 47        |
| 5.6 GANHOS OBTIDOS COM O PROJETO .....  | 50        |
| 5.6.1 Custo do projeto .....            | 50        |
| 5.6.2 Custo de manutenção .....         | 51        |
| <b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>     | <b>55</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b> | <b>56</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Em um cenário cada vez mais competitivo no meio industrial, as empresas devem buscar soluções para otimizar os processos produtivos, isso demanda investimentos em inovações, tecnologias e ações que garantam a segurança dos seus processos industriais. Para atender as necessidades produtivas, a indústria precisa controlar seus recursos humanos, materiais e financeiros.

Neste contexto, o setor de manutenção vem ganhando cada vez mais atenção e tem se mostrado fundamental como questão estratégica, sendo usada para melhorar a qualidade do produto, reduzir tempo de entrega, custos e impactos ambientais. As atividades de manutenção visam manter a integridade dos equipamentos e processos, que pelo desgaste natural ou erros de operação, podem afetar no desempenho, causar paradas na produção, fabricação de produtos de má qualidade e ainda afetar na segurança dos colaboradores, estes acontecimentos prejudicam todo funcionamento e colocam em risco a sobrevivência da empresa.

Por isso, o bom gerenciamento e atuação da manutenção é muito importante para maximizar desempenho, precisa estar bem estruturado com procedimentos e práticas bem definidas. Deve atuar de forma integrada com as demais áreas, mantendo toda organização em acordo e comprometimento para o atingimento de metas e de melhores resultados.

Além disso, a sociedade atual tem se mantido cada vez mais conectada e com a necessidade de usar tecnologia no seu cotidiano, esta necessidade tem se estendido para o ambiente fabril e está associada a ideia de indústria 4.0, este termo é usado para caracterizar a utilização de sistemas de tecnologia avançada como inteligência artificial (IA), robótica, Internet das Coisas (IoT) e computação em nuvem para produzir bens de consumo.

Este conceito estabelece uma tendência para automação total da manufatura e a criação de redes inteligentes que controlem de maneira autônoma todos os processos. Ao apresentar uma nova forma de gerir os processos e funcionamento dos equipamentos de forma totalmente integrada este fenômeno se apresenta como diferencial e como fator de competitividade na indústria atualmente.

Imagine uma planta industrial com seus equipamentos sendo monitorados por meio de sensores em tempo real gerando dados precisos e imediatos sobre seu comportamento, a partir dos dados registrados prever a iminência de uma quebra ou parada e acionar a manutenção antes que isto ocorra trazendo segurança para o processo.

A chicoteira, indústria responsável pela produção dos chicotes elétricos, é um tipo de indústria bastante diversificado tanto no que se refere as matérias-primas utilizadas como nas etapas de processamento. No processo do corte e crimpagem dos cabos, as máquinas usadas tem grande importância no desempenho da produção, o processo de fabricação é iniciado nelas, assim sua influência sobre o produto final é muito grande, tanto no que se refere ao tempo de produção como na qualidade. A fabricante da máquina de corte Komax 355, máquina que será abordada neste estudo, estipula que o seu painel de comando opere em uma faixa de temperatura de 0 a 40°C para garantir o seu bom funcionamento.

A temperatura é sem dúvidas uma variável muito importante nos processos industriais e pode interferir principalmente se tratando de produtos sensíveis a alterações ambientais, sua medição e controle são essenciais para garantir a segurança e qualidade da produção, isto porque as características físico-químicas de qualquer substância podem ser alteradas por conta desta grandeza física. Dimensão, estado físico, densidade e condutividade, por exemplo, são características que podem ser alteradas mediante a temperatura que a substância esteja exposta.

O painel de comando é o compartimento usado para alocar dispositivos eletrônicos, é onde se encontram disjuntores, interruptores, reles, temporizadores, CLPs e aparelhos responsáveis por controlar o sistema da máquina. O fabricante estabelece a faixa de temperatura ideal que deve estar os equipamentos dentro do painel para garantir o seu bom funcionamento. Qualquer equipamento ligado a energia gera calor, além disso fatores externos podem afetar na temperatura como condições ambientais, falta de sistema de resfriamento e instalação elétrica incorreta. Independente da indústria ou área onde o painel está instalado é necessário controlar sua temperatura mínima e máxima para que esteja de acordo com a estipulada pelo fabricante.

Vários prejuízos podem ocorrer devido ao superaquecimento do painel de comando, um curto circuito, é um exemplo de falha e que pode ser evitada através da manutenção de forma adequada. Existem várias ferramentas que podem auxiliar para a melhor atuação do setor de manutenção, desta forma no presente trabalho iremos abordar o modelo de manutenção preditiva através do monitoramento de temperatura por meio de um sensor de temperatura e umidade e um microcontrolador com WiFi integrado, o acoplamento entre os dois é compacto ocupando espaço mínimo no painel, a comunicação dos dados obtidos é sem fio que permite acesso remoto.

Este sistema tem o intuito de trazer conexão entre o funcionamento do equipamento e o setor de manutenção, trazendo em tempo real o comportamento da máquina possibilitando detectar possíveis distúrbios e agir antes que a falha ocorra, garantindo o melhor funcionamento do equipamento, segurança e evitando paradas não programadas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Este projeto tem por finalidade apresentar o desenvolvimento de manutenção preditiva por meio da criação de um sistema automatizado de baixo custo que realize o monitoramento da temperatura e umidade do painel de comando da máquina de corte Komax Alpha 355 e armazene estes dados, mantendo um registro, possibilitando maior confiabilidade do funcionamento da máquina e garantindo uma manutenção mais assertiva.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Aumentar a confiabilidade do processo;
- Aumentar a disponibilidade e longevidade do equipamento;
- Reduzir as manutenções corretivas.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser entendida como um conjunto de ações necessárias para que determinado equipamento seja conservado ou restaurado, de forma que possa permanecer conforme as condições especificadas pelo fabricante (TAVARES, 1996).

Para Bertsche (2008), manutenção consiste em métodos para determinação e avaliação da situação atual, bem como para a preservação e o restabelecimento da condição nominal das instalações, máquinas e componentes. Já Waeyenbergh (2005), relata que a manutenção é a responsável em garantir a funcionalidade, conservação e controle da vida útil de todos os equipamentos e instalações.

De acordo com Monchy (1989) o termo manutenção possui origem no meio militar. Seu sentido básico era manter nas unidades de combate o efetivo e o material num nível constante de aceitação. Slack et al (2018) classifica como objetivos da manutenção:

- Diminuição de custos: a manutenção pode proporcionar redução de incidência de defeitos, promovendo menos intervenções de natureza corretiva, o que consequentemente reduz significativamente os custos do setor;
- Maior qualidade de produtos: quanto mais perfeitamente os equipamentos estiverem operando, maior será a qualidade que os produtos finais terão, o que diretamente aumentará o nível de competitividade da empresa junto ao mercado e elevará o nível de fidelidade de clientes;
- Maior segurança: a manutenção também promove uma operação mais confiável e mais segura, com boas condições de trabalho e processos internos;
- Melhor ambiente de trabalho: possibilita um ambiente de trabalho mais limpo, seguro e organizado elevando circunstancialmente o bem-estar dos profissionais atuantes no setor;

- Desenvolvimento profissional: a manutenção também promove o desenvolvimento de novas aptidões, o que pode proporcionar crescimento profissional para os colaboradores através do nível de seu envolvimento direto nas decisões de aumento de produtividade da empresa;
- Maior vida útil dos equipamentos: a manutenção oferece aos equipamentos uma elevação significativa na sua vida útil mediante intervenções em sua estrutura e ações de prevenção;
- Maior confiabilidade dos equipamentos: máquinas e equipamentos que são submetidos a ações periódicas de manutenção preventiva possuem tempo maior entre uma falha e outra, possibilitando um nível mais alto de disponibilidade e velocidade de produção;
- Instalações da produção com maior valorização: instalações e ambientes de trabalho com manutenção periódica constante são comumente mais valorizadas pelo mercado;
- Maior poder de investimento: a diminuição dos custos promovida por ações de manutenção pode ser revertida em aumento de investimentos no setor ou na empresa, afetando positivamente acionistas, funcionários e clientes de uma maneira geral;
- Preservação do meio ambiente: a otimização de processos através da manutenção possibilita uma regulamentação mais confiável dos equipamentos e isto oferece uma economia de recursos naturais e desperdício, o que, conseqüentemente, diminui de maneira considerável os impactos ambientais.

Pinto e Xavier (2012) comentam que a missão da manutenção é garantir a disponibilidade e função dos equipamentos e instalações de forma a atender ao processo produtivo e preservar o meio ambiente, com confiabilidade, segurança e ao menor custo possível.

A manutenção traz inúmeros benefícios para as organizações, Costa Junior (2008) apresenta alguns:

- Aumento da segurança: um equipamento em perfeitas condições de funcionamento traz segurança para o operador e para os processos;

- Melhoria da qualidade: equipamentos ajustados segundo as especificações técnicas garantem a qualidade desejada ao produto;
- Aumento da confiabilidade: quanto menores forem as interrupções para a manutenção de equipamentos, maior será a taxa de utilização e disponibilidade do mesmo;
- Redução de custos: todas as atividades de manutenção representam custos para a organização, seja pelo tempo de interrupção do equipamento, pelos custos de reposição das peças, ou pela mão de obra da produção que fica ociosa durante esse processo.

### 3.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

O termo manutenção surge nas indústrias a partir da década de 50 do séc. XX nos Estados Unidos. Nessa época de desenvolvimento tecnológico pós-guerra, fez-se necessário dividir a área de manutenção da produção com objetivo de melhoria de performance do sistema produtivo (BRANCO FILHO, 2020).

De acordo com Xavier (2015) e Siqueira (2005), a evolução da manutenção segue três gerações:

- 1ª geração (1930 a 1940): é caracterizada pelo conserto após a falha ou manutenção emergencial;
- 2ª geração (1940 a 1970): possui como característica principal a disponibilidade cada vez maior e a vida útil dos equipamentos cada vez mais elevada. Ações preventivas com base no tempo da última intervenção também passam a ser mais constantes nesta geração. Também surgem sistemas manuais de planejamento e registro das tarefas e ocorrências de manutenção e posteriormente pelo início do uso de computadores grandes e lentos para execução dessas tarefas;
- 3ª geração (1970 a 2000): caracterizada pela elevação de níveis altos de disponibilidade e confiabilidade de equipamentos. Há avanços na relação entre o custo da manutenção e os benefícios proporcionados por esta. As intervenções realizadas nos equipamentos passam a ser baseadas na avaliação da condição de uso e no risco da apresentação

da falha. Também são registrados aumentos na qualidade dos produtos e no controle dos riscos a fim de proporcionar mais saúde e segurança para o trabalhador. A preocupação com o meio ambiente também passou a direcionar algumas ações de manutenção. Registra-se neste período também avanços tecnológicos significativos, com computadores portáteis e rápidos com potentes softwares para intervenções e gerenciamento da manutenção.

- 4ª geração (desde 2000): houve a consolidação das atividades de Engenharia da Manutenção, que tem na garantia da disponibilidade, da confiabilidade e da manutenibilidade as três maiores justificativas de sua existência. A manutenção tem como desafio a minimização das falhas prematuras e a prática de análise de falhas é uma metodologia consagrada como capaz de melhorar a performance dos equipamentos. As práticas de manutenção preditiva são cada vez mais utilizadas, em consequência houve uma redução na aplicação de manutenção preventiva pois ela promove a paralisação dos equipamentos e sistemas, impactando negativamente a produção, o mesmo para a manutenção corretiva não planejada que se torna um indicador de ineficácia da manutenção. A sistemática adotada pelas empresas privilegia a interação entre as áreas de engenharia, manutenção e operação como fator de garantia de confiabilidade, disponibilidade e Custo do Ciclo de Vida da instalação. Por fim, uma das grandes mudanças foi o aprimoramento da terceirização buscando contratos de longo prazo em uma relação de parceria com indicadores que medem disponibilidade e confiabilidade. (KARDEC e NASCIF, 2012).

### 3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Para desempenhar as suas funções, a manutenção utiliza-se de uma série de estratégias e ferramentas que podem ser resumidos nas políticas de manutenção. Essas políticas consistem de um conjunto de regras, técnicas e conceitos que são abordados para operacionalizar a manutenção de forma a atender os principais interesses da indústria (BRANCO FILHO, 2020).

Cada empresa conta com metodologias de trabalho distintas. Para cada uma, existe um tipo distinto de manutenção com ações e características próprias. A tabela 1 apresenta os tipos de manutenção e a sua relação com estas políticas.

Tabela 1 – Tipos de manutenção x política de manutenção.

| <b>Tipo de manutenção</b> | <b>Política de manutenção</b>  | <b>Ação da manutenção</b> |
|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Manutenção corretiva      | Manutenção baseada na falha    | Reparar                   |
| Manutenção preventiva     | Manutenção baseada no uso      | Inspecionar               |
|                           | Manutenção baseada no tempo    | Reparar                   |
|                           | Manutenção baseada no projeto  | Substituir                |
| Manutenção preditiva      | Manutenção baseada na detecção | Inspecionar               |
|                           | Manutenção baseada na condição | Inspecionar               |

Fonte: Waeyenbergh (2005).

### 3.3.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é definida de acordo com França (2017), como uma atividade reativa, cujo objetivo principal, é colocar o equipamento, o mais rápido quanto for possível, em seu estado de funcionalidade. É o tipo de manutenção mais utilizado na maioria das empresas, mas ao mesmo tempo, é o que possui custos mais elevados.

Efetuada após uma pane ou parada de máquina. Esse tipo de manutenção tem como único objetivo colocar o equipamento em uso novamente, uma vez que o mesmo já chegou ao nível crítico, ou seja, parou por quebra de alguma determinada peça. Nepomuceno (1989) afirma que esse tipo de manutenção significa deixar o equipamento trabalhar até quebrar.

Segundo Souza (2009), compete à manutenção corretiva gerar informações necessárias para análise de desempenho, da repetibilidade da falha e outros parâmetros. Como as principais informações necessárias às análises originam da manutenção corretiva, é fundamental que seja dada ênfase à formação de uma equipe capaz de transmitir estas informações de forma precisa ao programa de manutenção preditiva, a partir da análise das causas das falhas (CARVALHO, 2011).

### 3.3.1.1 Manutenção corretiva não planejada

A ocorrência de uma falha nem sempre possibilita tempo hábil para uma preparação ou planejamento prévio. Na grande maioria das vezes, ocorre de forma súbita e imprevisível, acarretando uma ação de emergência ou de urgência para a equipe de manutenção. Considera-se como urgência uma atividade que deve ser executada imediatamente, onde a equipe de manutenção deve parar suas atividades e atender a ocorrência (SOUZA, 2009).

Essa é a chamada manutenção corretiva não planejada, que segundo Xavier (2003) é a correção da falha de maneira aleatória, ou seja, após a ocorrência do fato, inesperadamente. Esse tipo de manutenção implica em altos custos, pois causa perdas de produção e a extensão dos danos aos equipamentos é maior. Em caso de emergência, uma avaliação minuciosa deve ser feita e toda emergência deve originar uma atividade de manutenção preventiva, preditiva ou uma melhoria no equipamento.

### 3.3.1.2 Manutenção corretiva planejada

A manutenção corretiva planejada acontece por decisão gerencial, visando reparar a falha ou o desempenho abaixo do esperado, por meio do acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a falha. Algumas máquinas e equipamentos funcionam somente nesta forma de manutenção. Uma atividade planejada é sempre de menor custo, maior segurança e rapidez (PINTO; XAVIER, 2012).

A qualidade da informação obtida pelo acompanhamento preditivo permite um planejamento das atividades de manutenção, de modo a reduzir os custos, pois se espera uma falha ou perda de rendimento do equipamento. Diante disso, a implantação desse tipo de manutenção tem origem por alguns fatores, como aprimorar o planejamento das atividades, garantir que existam equipamentos extras e permitir um ambiente de trabalho seguro (GUIMARÃES et al., 2012; PINTO E XAVIER, 2012).

### 3.3.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é definida por Pilon (2007) como a situação em que se caracterizou o defeito, porém este não torna o equipamento indisponível. Sendo assim, essa forma de manutenção é realizada em um equipamento com a intenção de reduzir a probabilidade de ocorrência de falha. Quando a lei de degradação é conhecida, a manutenção preventiva é denominada sistemática.

Este tipo de manutenção caracteriza-se pela busca sistemática e obstinada para evitar a ocorrência de falhas, procurando prevenir, mantendo um controle contínuo sobre os equipamentos, efetuando operações julgadas convenientes (SILVA, 2004).

O custo da manutenção preventiva é elevado, tendo em vista que peças e componentes dos equipamentos podem ser substituídos antes de atingirem seus limites de vida útil. Segundo Pinto & Xavier (2012), para adoção de uma política de manutenção preventiva devemos considerar fatores tais como:

- impossibilidade da adoção de manutenção preditiva;
- aspectos de segurança pessoal ou da instalação;
- equipamentos críticos de difícil liberação operacional;
- riscos de agressão ao meio ambiente;
- sistemas complexos ou de operação contínua.

A manutenção preventiva é adequada em sistemas onde existem riscos ao meio ambiente e ao pessoal; e em operações complexas, em que o custo da falha é muito elevado. O programa de manutenção deve ser bem executado, pois, caso contrário, em vez de benefícios a intervenção causará prejuízos à organização (MACÊDO, 2015).

### 3.3.3 Manutenção preditiva

Esse tipo de manutenção caracteriza-se pela previsibilidade da deterioração do equipamento, prevenindo falhas por meio do monitoramento dos parâmetros principais, com o equipamento em funcionamento (LEMOS, 2019).

Pinto e Xavier (2012) afirmam que o principal objetivo da manutenção preditiva é prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à manutenção preventiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo.

Entre os objetivos da manutenção preditiva, destacam-se (CARVALHO et al., 2009):

- determinar antecipadamente quando será necessário realizar serviços de manutenção numa peça específica de um equipamento;
- eliminar desmontagens desnecessárias para inspeção;
- aumentar o tempo da disponibilidade dos equipamentos;
- minimizar trabalhos de emergência ou não planejados;
- impedir a propagação dos danos;
- aproveitamento da vida útil total dos componentes de um equipamento;
- aumentar a confiabilidade de um equipamento ou da linha de produção;
- determinar previamente uma interrupção de fabricação e quais os equipamentos que precisam de manutenção.

A prática da manutenção preditiva reduzirá significativamente o número de manutenções corretivas e preventivas. De uma maneira geral, a aplicação de programas de manutenção preditiva em indústrias de processo resulta em reduções da ordem de 2/3 nos prejuízos com paradas inesperadas de produção e 1/3 nos gastos com a manutenção (BRITO, 2002).

### 3.4 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Com o advento da manutenção preditiva, o surgimento da engenharia de manutenção como prática sistemática de execução pode ser considerada uma quebra de paradigma neste cenário, uma vez que com ela foram percebidas

alterações na rotina de atividades e consolidação de uma política de melhoria contínua no setor de manutenção das empresas (COSTA, 2013).

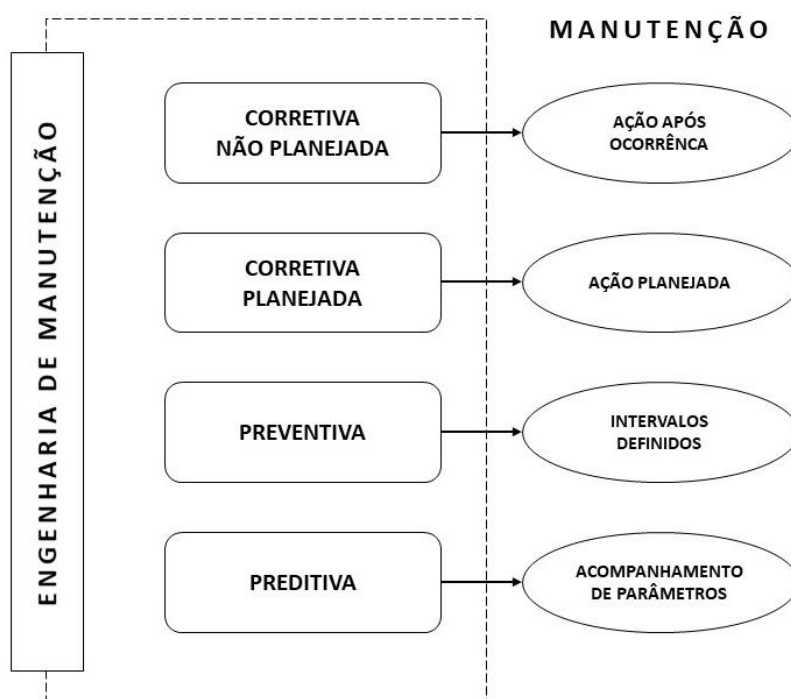
A engenharia de manutenção refere-se basicamente à aplicação de técnicas modernas dentro das empresas a fim de estar igualado com os níveis de manutenção do primeiro mundo. De acordo com Pinto e Nascif (2012), a engenharia de manutenção busca, dentre outros objetivos:

- aumentar a confiabilidade;
- elevar os níveis de segurança e manutenibilidade;
- eliminar problemas crônicos e solucionar problemas tecnológicos;
- melhorar gestão de pessoal, materiais e sobressalentes;
- participar de novos projetos e dar suporte à execução;
- fazer análise de falhas e estudos;
- elaborar planos de manutenção;
- fazer análise crítica;
- acompanhar indicadores e;
- zelar pela documentação técnica.

Toda e qualquer empresa que aplica em sua política interna de manutenção esses conceitos relacionados a engenharia de manutenção está alimentando-se de informações relevantes acerca do tema e que possibilitarão análises e estudos para melhoria contínua de sua estrutura e métodos de trabalho e isto vai além de um acompanhamento preditivo de seus equipamentos e máquinas (COSTA, 2013).

O esquema apresentado na Figura 1 apresenta os diferentes tipos de manutenção, bem como a posição ocupada pela engenharia de manutenção.

Figura 1 – Tipos de manutenção de acordo com a engenharia de manutenção.



Fonte: Adaptado de Pinto e Nascif (2012).

### 3.5 CHICOTES ELÉTRICOS

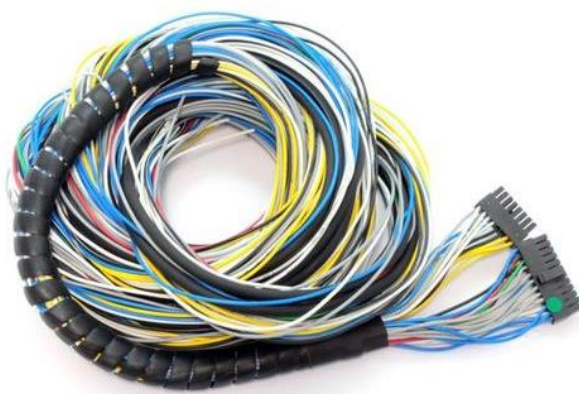
#### 3.5.1 Definição

Os chicotes elétricos automotivos constituem um conjunto de cabos que transportam a energia aos sensores e aos vários sistemas de um veículo. A principal função dos chicotes elétricos automotivos é conduzir eletricidade. De acordo com Dipecarr (2012), os chicotes elétricos automotivos não servem apenas para gerenciar o suprimento de energia, como também para transferir informações a fim de integrar todo o sistema. Como os chicotes elétricos automotivos são extremamente complexos, a fabricação deles demanda, inclusive, trabalho manual.

Um chicote elétrico é composto por vários cabos. A conectividade desses elementos é feita através de módulos eletrônicos que atuam de forma integrada nos sistemas de injeção, controle de tração, sistema de transmissão, entre outros. Um veículo popular utiliza-se de menos cabos elétricos, enquanto um veículo de luxo utiliza-se do dobro. Quanto mais sofisticado, mais condutores serão necessários (MINHA OFICINA, 2019).

Os chicotes são separados por cores, que são determinadas conforme os padrões das montadoras. As cores dos fios podem ser indicadas por letras, ou caso o esquema seja colorido, os fios são identificados por letras e cores em um sistema impresso ou digital. A capacidade de corrente dos fusíveis presentes em um chicote elétrico é conhecida a partir do seu corpo e está associada a sua cor (NASCIMENTO, 2009). A figura 2 apresenta um chicote elétrico.

Figura 2 – Chicote elétrico.



Fonte: FuelTech (2015).

### 3.5.2 Processos de fabricação

O processo de fabricação dos chicotes elétricos envolve uma série de etapas que são essenciais para garantir a qualidade e a eficiência dos produtos. Cada etapa contribui para a construção de um chicote elétrico confiável e funcional. As fases de produção destes componentes:

- Corte de cabos: Nessa etapa, os cabos são cortados com precisão nas medidas e comprimentos adequados. O corte é realizado de acordo com as especificações do projeto, levando em consideração fatores como o tipo de cabo, a sua finalidade e a distância entre os componentes a serem conectados. A utilização de ferramentas apropriadas garante que o corte seja limpo e preciso, evitando danos aos fios e mantendo a integridade elétrica (SIQUEIRA, 2016).
- Crimpagem de terminais: Após o corte dos cabos, os terminais são crimpados em suas extremidades. A crimpagem consiste em fixar firmemente os terminais aos cabos por meio de compressão. Isso é feito utilizando ferramentas específicas, como alicates de crimpagem, que aplicam a pressão necessária para garantir uma conexão segura e confiável. A crimpagem adequada evita falhas de contato e assegura uma boa transmissão elétrica (SIQUEIRA, 2016; SILVA et al., 2017).
- Preparação dos circuitos: Nessa etapa, os cabos e terminais preparados são organizados de acordo com o layout do circuito elétrico. É importante garantir que cada cabo seja posicionado corretamente, seguindo a sequência e a orientação dos fios estabelecidos no projeto. A preparação dos circuitos envolve a identificação e a rotulação dos cabos, facilitando a montagem e a manutenção posterior (SANTOS, 2022).
- Pré-Montagem: A pré-montagem envolve a união dos componentes iniciais do chicote elétrico, como conectores e blocos de terminais. Nessa etapa, os componentes são fixados em uma estrutura ou suporte, permitindo uma organização preliminar dos cabos e facilitando a montagem subsequente. A pré-montagem também pode incluir a instalação de dispositivos de proteção, como fitas isolantes e tubos

termorretráteis, para garantir a segurança e a durabilidade do chicote elétrico (SOUZA, 2021).

- Montagem: Na etapa de montagem, o chicote elétrico é construído de acordo com o projeto final. Os cabos são roteados e fixados em suas posições adequadas, seguindo as especificações e o layout determinados. É fundamental garantir a correta conexão entre os cabos e os componentes elétricos, utilizando técnicas apropriadas de fixação, como grampos, braçadeiras ou fitas de amarração. A montagem requer atenção aos detalhes, assegurando a organização e a integridade do chicote (SOUZA, 2021).
- Inspeção de Qualidade: Após a montagem, uma inspeção rigorosa é realizada para garantir a qualidade do chicote elétrico. São verificados aspectos como a correta conexão dos cabos, a fixação adequada dos terminais, a ausência de falhas de isolamento e o cumprimento das especificações técnicas. Essa inspeção pode incluir o uso de equipamentos de medição e testes para verificar a resistência elétrica, a continuidade dos circuitos e a ausência de curtos-circuitos. Qualquer defeito identificado é corrigido antes que o produto final seja entregue (SIQUEIRA, 2016).
- Teste elétrico: Por fim, é realizado um teste elétrico para verificar o funcionamento e a integridade do chicote elétrico. Esse teste envolve a aplicação de corrente elétrica aos circuitos do chicote, utilizando equipamentos específicos de teste. O objetivo é assegurar que todos os componentes estejam funcionando corretamente, que não haja falhas de conexão ou curtos-circuitos, e que a transmissão elétrica ocorra de maneira eficiente e segura (SIQUEIRA, 2016; SOUZA, 2021).

Cada etapa do processo de fabricação dos chicotes elétricos desempenha um papel fundamental na construção de produtos confiáveis e de qualidade. A combinação de habilidades técnicas, uso adequado de ferramentas e equipamentos, além da atenção aos detalhes, é essencial para garantir a eficiência e a segurança dos chicotes elétricos, que desempenham um papel vital em diversas aplicações industriais, automotivas e eletrônicas.

### 3.5.3 Máquina de corte e crimpagem Komax Alpha 355

A máquina de corte e crimpagem Komax Alpha 355 é um equipamento utilizado na indústria de fabricação de chicotes elétricos para realizar de forma automatizada as etapas de corte de cabos e crimpagem de terminais. Essa máquina é reconhecida por sua precisão, eficiência e versatilidade, tornando-se uma escolha popular em processos de produção de alta demanda (INDIAMART, 2020).

Além disso, a máquina Komax Alpha 355 possui recursos avançados que contribuem para o aumento da eficiência e produtividade do processo de fabricação dos chicotes elétricos. Ela é equipada com um sistema de alimentação automática de cabos, que agiliza o fluxo de trabalho, reduzindo o tempo necessário para a preparação e alimentação dos cabos na máquina. Além disso, a Komax Alpha 355 possui controles programáveis e interfaces intuitivas, permitindo o ajuste rápido e preciso dos parâmetros de corte e crimpagem, de acordo com as especificações do projeto (INDIAMART, 2020). A máquina pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 – Máquina de corte e crimpagem Komax 355.



Fonte: Komax Group (2020).

A utilização da máquina de corte e crimpagem Komax Alpha 355 proporciona diversos benefícios para a produção de chicotes elétricos. Além da maior precisão e consistência nos cortes e crimpagens, a automação dessas etapas reduz a

dependência de mão de obra manual, diminuindo os riscos de erros humanos e aumentando a eficiência geral do processo. Com a capacidade de lidar com uma ampla gama de cabos e terminais, essa máquina oferece flexibilidade na produção, permitindo a fabricação de chicotes elétricos personalizados para atender às necessidades específicas dos clientes (QUINTANILLA, 2018).

#### 3.5.4 Manutenção preditiva em painéis elétricos

A manutenção preditiva em painéis elétricos é uma abordagem estratégica que visa monitorar e diagnosticar o estado dos componentes e sistemas presentes nos painéis elétricos, a fim de identificar possíveis falhas ou problemas antes que eles ocorram. Essa metodologia utiliza tecnologias avançadas de monitoramento e análise de dados para coletar informações em tempo real sobre o desempenho dos equipamentos elétricos, permitindo uma intervenção proativa e planejada (SILVA, 2020).

A principal premissa da manutenção preditiva é que muitas falhas em sistemas elétricos apresentam sinais ou indicadores prévios de seu surgimento. Ao identificar esses sinais precoces, é possível tomar medidas preventivas, como ajustes, reparos ou substituições de componentes, evitando assim paradas inesperadas e custos elevados de manutenção corretiva (GOMES; FRANCO, 2021).

No contexto dos painéis elétricos, a manutenção preditiva pode ser aplicada a uma variedade de componentes e sistemas, como disjuntores, relés, contatos, transformadores, dispositivos de proteção e sistemas de controle. Para implementar essa abordagem, são utilizados diferentes métodos e tecnologias, como monitoramento de temperatura, vibração, corrente, nível de isolamento, entre outros. Sensores são instalados nos componentes-chave do painel elétrico, coletando dados e enviando-os para sistemas de monitoramento e análise (MARIAN; BARCELOS, 2021).

O monitoramento contínuo dos dados coletados permite detectar anomalias, variações e tendências que podem indicar problemas iminentes. Além disso, a análise desses dados em tempo real ou por meio de algoritmos e técnicas de aprendizado de máquina pode fornecer insights valiosos sobre o desempenho dos

componentes e sistemas, permitindo a identificação de padrões de falha e a previsão de possíveis problemas (RODRIGUES et al., 2018; MARIAN; BARCELOS, 2021).

Os benefícios da manutenção preditiva em painéis elétricos são significativos. Primeiramente, ela permite reduzir o tempo de inatividade não programada, garantindo a disponibilidade contínua dos sistemas elétricos. Isso resulta em uma maior confiabilidade operacional, evitando perdas financeiras e de produção decorrentes de paradas não planejadas (MLYNARCZUK, 2018).

Além disso, a manutenção preditiva ajuda a otimizar os custos de manutenção, uma vez que permite programar as intervenções com antecedência, evitando gastos desnecessários em reparos corretivos de emergência. A identificação precoce de falhas também possibilita um melhor gerenciamento de peças de reposição, reduzindo estoques excessivos ou desperdícios (MARIAN; BARCELOS, 2021).

Outro benefício importante é a segurança. A manutenção preditiva contribui para a identificação de problemas de segurança em potencial, como falhas de isolamento ou superaquecimento de componentes, permitindo a implementação de medidas preventivas para evitar riscos de incêndios, choques elétricos ou outras situações perigosas (MLYNARCZUK, 2018).

### 3.5.5 Montagem do protótipo/equipamentos

#### 3.5.5.1 IoT/Automação

A Internet das Coisas – IoT é um conceito que se refere à interconexão de objetos físicos por meio da Internet, permitindo que eles coletem e compartilhem dados entre si e com sistemas externos. A IoT tem sido amplamente aplicada na automação de sistemas, proporcionando benefícios significativos em diversas áreas (MAGRANI, 2018).

A aplicação da IoT na automação de sistemas permite a criação de ambientes inteligentes e interconectados, onde dispositivos eletrônicos, sensores e atuadores se comunicam e colaboram para executar tarefas de forma automatizada e eficiente (STEVAN JUNIOR, 2018).

Um dos principais benefícios da integração de dispositivos e coleta de dados em tempo real é a possibilidade de monitoramento e controle remoto de processos. Por exemplo, em um sistema de automação residencial, sensores e dispositivos conectados podem coletar dados sobre temperatura, iluminação e segurança, permitindo que o usuário monitore e controle esses aspectos por meio de um aplicativo móvel (STEVAN JUNIOR, 2018).

Além disso, a coleta de dados em tempo real possibilita a análise e tomada de decisões baseadas em informações atualizadas. Em ambientes industriais, por exemplo, sensores conectados podem monitorar o desempenho de máquinas, identificar falhas e enviar alertas para manutenção preventiva, evitando paradas inesperadas e otimizando a eficiência operacional (MAGRANI, 2018).

A integração de dispositivos por meio da IoT também contribui para a criação de sistemas mais inteligentes e adaptáveis. Sensores podem coletar dados ambientais e de uso, permitindo que os sistemas se ajustem automaticamente com base nessas informações. Por exemplo, um sistema de iluminação inteligente pode ajustar o nível de luminosidade com base na presença de pessoas no ambiente, otimizando o consumo de energia (IDEALI, 2021).

#### 3.5.5.2 Microcontrolador ESP32

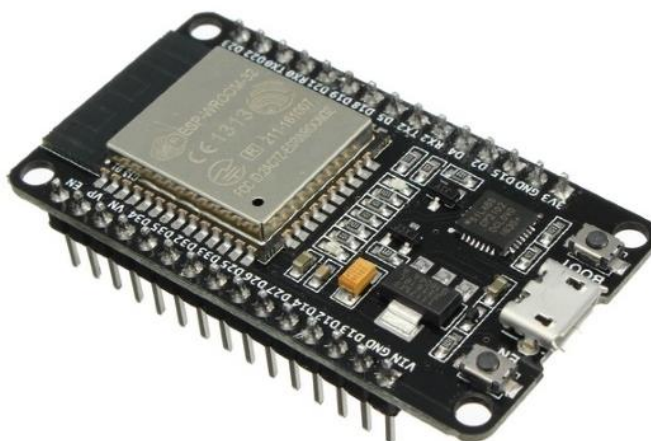
O ESP32 é uma série de microcontroladores altamente versáteis e eficientes, que apresentam uma combinação única de baixo custo e baixo consumo de energia. Com seu design integrado, o ESP32 incorpora um microprocessador Tensilica Xtensa LX6, que pode ser encontrado em duas variações: dual-core e single-core. Esses núcleos de processamento são acompanhados por uma ampla gama de recursos e funcionalidades que o tornam uma opção poderosa para uma variedade de aplicações (DIAS, 2022).

Uma das características distintivas do ESP32 é sua conectividade sem fio. Ele possui suporte nativo para Wi-Fi e Bluetooth, permitindo uma ampla gama de possibilidades de comunicação e integração. Com o Wi-Fi integrado, o ESP32 pode se conectar a redes locais ou à Internet, facilitando a troca de dados em tempo real e o acesso remoto. Além disso, o suporte ao Bluetooth possibilita a interação com outros dispositivos compatíveis, como smartphones, tablets e outros

microcontroladores, expandindo ainda mais as capacidades de comunicação e controle (CURTO CIRCUITO, 2018).

O ESP32 também se destaca por sua arquitetura avançada e recursos poderosos. Com uma velocidade de clock de até 240 MHz, o microcontrolador é capaz de lidar com tarefas complexas e exigentes, oferecendo um desempenho excepcional. Além disso, sua arquitetura de dois núcleos permite a execução simultânea de várias tarefas, garantindo uma capacidade de processamento eficiente e responsiva (CURTO CIRCUITO, 2018). Este componente pode ser observado na Figura 4.

Figura 4 – Microcontrolador ESP32.



Fonte: MakerHero (2022).

Para facilitar a interação com o ambiente físico, o ESP32 possui uma ampla variedade de interfaces de periféricos, incluindo GPIOs, UART, SPI e I2C. Essas interfaces permitem a conexão e controle de sensores, atuadores e outros dispositivos externos, possibilitando a criação de projetos personalizados e adaptados às necessidades específicas de cada aplicação (DIAS, 2022).

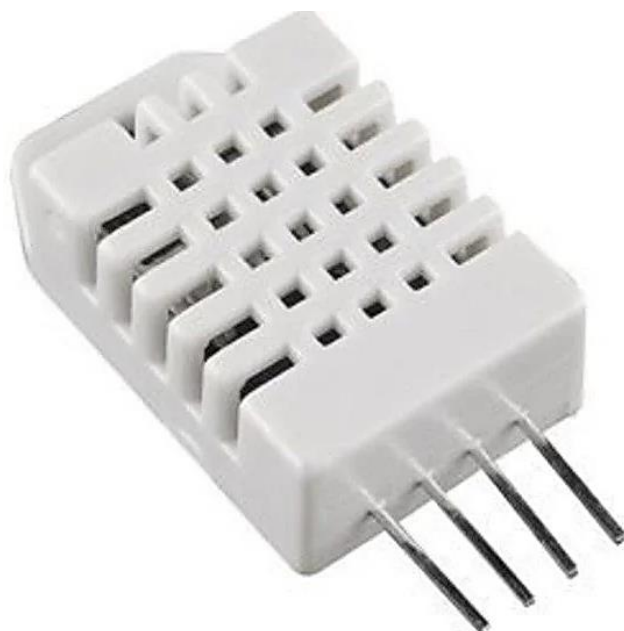
Em termos de memória, o ESP32 possui uma memória flash integrada para armazenamento de programas e dados, garantindo a capacidade de executar aplicativos complexos. Além disso, sua memória RAM permite o processamento eficiente de dados em tempo real, garantindo um desempenho confiável e responsivo (CURVELLO, 2018).

### 3.5.5.3 Sensor DHT22

O Sensor de Umidade e Temperatura DHT22 / AM2302 é amplamente utilizado em uma variedade de projetos que envolvem a medição precisa da temperatura e umidade ambiente. Sua popularidade se deve à sua capacidade de fornecer leituras confiáveis e precisas em uma ampla faixa de medição. Esse sensor é capaz de medir a temperatura em um intervalo que varia de  $-40^{\circ}$  a  $80^{\circ}$  Celsius, o que o torna adequado para uma ampla gama de aplicações. Além disso, ele também pode medir a umidade do ar nas faixas de 0 a 100%, fornecendo informações cruciais sobre as condições ambientais (OLIVEIRA, 2020).

Uma das características mais importantes do Sensor DHT22 é sua precisão. Ao realizar a medição da temperatura, o sensor possui uma margem de erro de aproximadamente  $0,5^{\circ}$  Celsius. Isso garante que as leituras obtidas sejam altamente confiáveis e próximas do valor real. Da mesma forma, ao medir a umidade, o sensor apresenta uma precisão de cerca de 2%, permitindo que você obtenha informações precisas sobre a umidade do ar no ambiente em que está sendo utilizado (GRAÇA, 2017). O sensor é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Sensor DHT22.



Fonte: Eletrogate (2022).

As aplicações do Sensor DHT22 são diversas, especialmente em projetos que envolvem a medição e monitoramento da temperatura e umidade ambiente. Ele pode ser facilmente integrado a plataformas microcontroladas, como o Arduino,

permitindo a criação de sistemas de monitoramento ambiental inteligentes. Por exemplo, em projetos de automação residencial, o sensor pode ser utilizado para controlar o sistema de climatização de acordo com as condições de temperatura e umidade do ambiente. Além disso, em projetos agrícolas, o sensor pode ser empregado para monitorar as condições de crescimento das plantas, garantindo um ambiente adequado para o seu desenvolvimento (MORAIS JUNIOR, 2017).

Em resumo, o Sensor de Umidade e Temperatura DHT22 é um componente altamente utilizado em projetos que envolvem a medição precisa da temperatura e umidade ambiente. Sua ampla faixa de medição, precisão confiável e fácil integração com plataformas microcontroladas tornam-no uma escolha popular para uma variedade de aplicações. Seja para monitoramento ambiental em residências, agricultura, indústria ou qualquer outra área que necessite de controle e conhecimento das condições de temperatura e umidade, o Sensor DHT22 oferece uma solução confiável e eficaz (GRAÇA, 2017).

#### 3.5.5.4 Ambiente de programação IDE Arduino

A IDE, sigla para *Integrated Development Environment* ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado em inglês, é uma ferramenta essencial para programadores que desejam desenvolver projetos em placas baseadas na plataforma Arduino. Ela oferece um ambiente completo, reunindo todas as funcionalidades necessárias para escrever códigos de forma eficiente e rápida (LIMA, 2022).

A IDE Arduino possui um layout bem estruturado e de fácil navegação, tornando o processo de programação acessível mesmo para iniciantes. Todas as opções e recursos são organizados de acordo com suas funções, permitindo a realização de procedimentos diversos de maneira simples e direta (FERNANDES; ANDRADE, 2018).

Dentro da IDE, é possível ter acesso a recursos importantes, como destaque de sintaxe, correção de erros e inclusão de bibliotecas. As bibliotecas são conjuntos de funções pré-programadas que visam facilitar o seu trabalho, fornecendo funcionalidades específicas prontas para uso. Além disso, a IDE disponibiliza um

monitor serial, que permite a comunicação com a placa, e a opção de envio do código para que ele possa ser executado pela placa (ROCHA, 2019; TOTVS, 2020).

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O presente trabalho trata-se basicamente de uma abordagem de pesquisa aplicada, uma vez que seu desenvolvimento foi realizado e aplicado dentro de uma empresa, abrangendo a realidade da organização. Acerca deste tipo de pesquisa, Vergara (2007) afirma que uma pesquisa aplicada é motivada principalmente pela necessidade de solucionar problemas reais e de natureza imediata. A autora ainda afirma que este tipo de pesquisa possui como característica principal seu caráter prático, diferentemente da pesquisa pura, a qual geralmente é motivada unicamente pela descoberta intelectual que pode proporcionar e depende do nível de especulação do pesquisador.

Esta pesquisa possui caráter qualitativo e quantitativo, uma vez que é centrada na realidade da empresa e utiliza de medidas para centralizar seus resultados. Pode ser considerada ainda uma pesquisa de caráter:

- bibliográfico, uma vez que possui base teórica em livros, estudos, artigos, revistas, redes de dados eletrônicos e afins;
- documental, pois é baseada nos registros, relatórios e dados internos da empresa que serviu como objeto de estudo e;
- de campo, uma vez que se trata de uma investigação de natureza empírica realizada no local onde ocorre o fenômeno, contando com observação direta para atingir os resultados esperados.

Em relação aos objetivos, pode ser qualificada como uma pesquisa descritiva, uma vez que, de acordo com Gil (2019), este tipo de pesquisa busca realizar uma abordagem de diversas situações e relações que ocorrem na vida social, no ambiente político e no contexto econômico, bem como quaisquer outros aspectos da conduta humana. Esta abordagem pode ainda ser acerca de um indivíduo observado isoladamente quanto em grupos e comunidades mais intrincadas.

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

A empresa X, utilizada como objeto de estudo deste trabalho, é uma empresa renomada fundada em 1941 e é reconhecida como uma fabricante independente líder no setor de componentes automotivos. Além de ser conhecidos pela excelência na produção de chicotes automotivos, oferece uma ampla gama de produtos de alta qualidade para o setor automotivo, incluindo medidores, componentes eletrônicos e diversos outros itens essenciais.

Desde o estabelecimento do primeiro local de produção no exterior, a presença global tem se expandido significativamente. Atualmente, conta com uma extensa rede de desenvolvimento e fabricação, que permite atender às demandas de fabricantes de automóveis em todo o mundo. Conhecida por estabelecer relações sólidas e de confiança mútua com parceiros do setor automotivo, fortalecendo ainda mais a posição no mercado global.

Tendo como base a política corporativa "A Corporation in Step with the World" e "A Corporation Needed by Society", a empresa em estudo está comprometida em ser uma empresa amigável ao meio ambiente em todos os aspectos de negócios. Reconhecendo a importância da sustentabilidade, desenvolve e produz uma extensa linha de produtos ecologicamente corretos e energeticamente eficientes. É considerada ainda pioneira em tecnologias inovadoras, desde a introdução do primeiro sistema de ar condicionado solar térmico do mundo, em 1974, até a criação do primeiro sistema de ar condicionado de energia de biomassa de madeira, em 2008. Essas iniciativas demonstram o compromisso em reduzir o impacto ambiental e promover práticas sustentáveis no setor automotivo.

Além do nosso compromisso com o meio ambiente, também se dedica a contribuir para a sociedade como um todo, sempre ciente da responsabilidade social e se esforçando sempre para ser uma força positiva em todas as comunidades onde opera. Por meio de parcerias estratégicas, programas de responsabilidade social corporativa e ações voluntárias, a empresa busca melhorar a qualidade de vida das pessoas e contribuir para o desenvolvimento sustentável das comunidades locais.

### 4.3 PAINEL ELÉTRICO

É responsável pelo controle e fornecimento de energia para a máquina. Ele contém uma série de componentes elétricos, como reles disjuntores, fontes de alimentação e controladores lógicos programáveis, que trabalham juntos para controlar as funções da máquina.

O painel elétrico recebe sinais do painel de controle da máquina e processa esses sinais para acionar os motores e solenoides que controlam o corte, decapagem e crimpagem dos fios e terminais. O PLC, por exemplo, é usado para programar as configurações da máquina, como a profundidade de corte, a força de crimpagem e a velocidade de alimentação, e controlar as operações da máquina para garantir a precisão e consistência da produção.

O painel elétrico também é projetado para garantir a segurança dos operadores, pois inclui componentes que protegem a máquina de sobrecarga elétrica, curto circuito e outros problemas elétricos que podem ocorrer durante a operação. É parte essencial do controle e operação da máquina. Ele fornece energia e controle para as funções da máquina, garantindo precisão, consistência do processo de produção, e garante a segurança dos operadores durante a operação na máquina.

O painel elétrico da máquina de corte e crimpagem Komax Alpha 355 é de extrema importância para o funcionamento adequado e seguro do equipamento. Ele desempenha várias funções essenciais, incluindo o controle e monitoramento dos componentes elétricos e eletrônicos da máquina.

O painel elétrico é responsável pelo:

- Controle de operação: O painel elétrico é responsável pelo controle e acionamento dos motores, cilindros pneumáticos, sistemas hidráulicos e outros componentes da máquina. Ele garante que todos os movimentos, operações de corte e crimpagem sejam realizados corretamente, de acordo com os parâmetros definidos.
- Segurança: O painel elétrico inclui dispositivos de segurança, como relés, disjuntores e fusíveis, que protegem a máquina contra

sobrecarga, curto-circuito e outros eventos indesejáveis. Esses dispositivos desligam automaticamente a máquina em caso de falhas elétricas ou situações de risco, garantindo a segurança dos operadores e do equipamento.

- Monitoramento e diagnóstico: O painel elétrico possui interfaces e indicadores que permitem aos operadores monitorar o status da máquina, como a velocidade de operação, a pressão do sistema hidráulico, entre outros parâmetros. Além disso, o painel pode registrar dados de produção e eventos de falha, fornecendo informações valiosas para diagnóstico de problemas e manutenção preventiva.
- Programação e personalização: O painel elétrico permite programar e personalizar os parâmetros de operação da máquina, como a velocidade do corte, o tempo de crimpagem, os ajustes de força, entre outros. Isso proporciona flexibilidade na produção e a capacidade de adaptar a máquina para diferentes tipos de fios e conectores.

O painel elétrico da máquina de corte e crimpagem Komax Alpha 355 desempenha um papel vital no controle, segurança e eficiência do equipamento. Sua correta operação e manutenção são essenciais para garantir o bom desempenho da máquina, minimizar os riscos de falhas e assegurar a qualidade dos produtos produzidos.

Se houver um superaquecimento no painel elétrico, pode causar uma série de problemas que podem afetar a operação da máquina e até mesmo causar danos aos componentes elétricos da máquina. Alguns dos possíveis efeitos incluem:

- Desligamento da máquina: o superaquecimento pode causar o desligamento automático da máquina para proteger os componentes elétricos do dano.
- Degradação dos componentes elétricos: o superaquecimento pode danificar os componentes elétricos do painel elétrico da máquina, como os reles, disjuntores e fonte de alimentação e possível falha destes componentes.

- Falha na produção: Se a máquina não for desligada automaticamente, o superaquecimento pode afetar a operação da máquina e levar a falhas na produção, como crimpagens mal feitas e cortes incorretos.
- Risco de incêndio: em caso extremo o superaquecimento pode levar a um risco de incêndio no painel elétrico, o que pode causar danos significativo a máquina e possivelmente colocar em risco a segurança dos operadores.

O superaquecimento no painel elétrico pode levar a uma série de problemas que afetam a operação da máquina e a qualidade da produção. Por isso é importante manter o painel elétrico em boas condições de funcionamento e tomar medidas para evitar o superaquecimento.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O objetivo primordial do projeto é obter dados em tempo real sobre a temperatura de um painel elétrico e armazená-los em um banco de dados na nuvem. Esse banco de dados fica acessível a qualquer momento, permitindo a análise do comportamento da máquina e a detecção de distúrbios, possibilitando ações preventivas antes que ocorra uma falha.

Quando a temperatura ultrapassa o valor especificado pelo fabricante, estabelecido em 40°C, é automaticamente enviado um e-mail de alerta para notificar que a temperatura excedeu o limite estabelecido. Essa notificação é crucial para que sejam realizadas verificações no equipamento, a fim de identificar o que eventualmente pode estar acontecendo.

Para o armazenamento dos dados, utilizou-se o banco de dados em tempo real (*realtime database*) do Firebase. Além disso, a fim de estabelecer a conexão e possibilitar o envio do e-mail de alerta, empregou-se a plataforma IFTTT (*If This, Then That*).

Dessa forma, o projeto busca garantir a coleta contínua de dados precisos de temperatura do painel elétrico, permitindo uma análise aprofundada do comportamento da máquina e a detecção proativa de possíveis falhas, evitando danos maiores e aumentando a eficiência e confiabilidade do equipamento.

### 5.1 FIREBASE

O Firebase Realtime Database é um serviço de banco de dados em nuvem oferecido pelo Firebase, uma plataforma de desenvolvimento de aplicativos móveis e web do Google. Esse serviço é baseado em um banco de dados NoSQL em tempo real, permitindo o armazenamento e sincronização de dados em tempo real entre diferentes dispositivos e plataformas.

Com o Firebase Realtime Database, os desenvolvedores podem criar aplicativos em tempo real que atualizam automaticamente os dados em todos os dispositivos conectados, eliminando a necessidade de atualizações manuais. Isso significa que, se um usuário realizar uma atualização em um registro do banco de

dados em um dispositivo, essa alteração será automaticamente refletida em todos os outros dispositivos conectados ao mesmo banco de dados em tempo real.

O Firebase Realtime Database é especialmente útil para aplicativos que exigem sincronização de dados em tempo real, como aplicativos de chat, jogos em tempo real e aplicativos colaborativos. Além disso, ele oferece recursos avançados de segurança, incluindo regras personalizáveis para restringir o acesso ao banco de dados.

O serviço utiliza o protocolo WebSocket para transmitir dados em tempo real, permitindo uma sincronização rápida e eficiente. Além disso, possui bibliotecas de clientes disponíveis para várias plataformas, como iOS, Android e JavaScript, o que possibilita aos desenvolvedores criar aplicativos em tempo real em diferentes plataformas utilizando a mesma infraestrutura de banco de dados.

No contexto específico do uso do ESP32 em conjunto com o sensor DHT22, é possível coletar dados de temperatura e umidade e armazená-los no Firebase Realtime Database. O sensor DHT22 é um dispositivo digital que mede a temperatura e umidade e pode ser facilmente conectado a um microcontrolador como o ESP32.

Ao coletar os dados do sensor DHT22 utilizando o ESP32, é possível utilizar a biblioteca do Firebase ESP32 para enviar esses dados para o Firebase Realtime Database. O banco de dados irá armazenar automaticamente os dados em tempo real, permitindo o acesso a essas informações a partir de qualquer plataforma ou dispositivo conectado ao banco de dados.

## 5.2 IFTTT

O IFTTT (*If This Then That*) é um serviço web que oferece a possibilidade de criar comandos e orientações, chamados de receitas, com base em situações e possibilidades específicas para automatizar tarefas entre diferentes aplicativos e serviços online.

Com o IFTTT, é possível estabelecer uma sequência de eventos que são acionados quando uma determinada condição é cumprida. Por exemplo, é possível criar um tipo de comando específico e personalizado para que, sempre que uma

nova mensagem chegar à sua caixa de entrada do Gmail, ela seja automaticamente salva em uma planilha do Google Drive.

O IFTTT é uma ferramenta extremamente útil para automatizar tarefas repetitivas e integrar diferentes serviços online de acordo com a necessidade do usuário. Ele suporta uma ampla variedade de serviços populares, como Gmail, Facebook, Twitter, Dropbox, Evernote, entre outras plataformas populares. Além disso, é possível criar receitas personalizadas utilizando a interface de programação do IFTTT.

### 5.3 ARDUINO

O ambiente de programação Arduino é uma plataforma de desenvolvimento eletrônico amplamente utilizada, que tem revolucionado a maneira como projetos e dispositivos interativos são criados. Com sua interface amigável e acessível, o Arduino tem atraído tanto iniciantes quanto profissionais experientes, oferecendo uma maneira simples e eficaz de programar microcontroladores e criar projetos eletrônicos personalizados.

Uma das principais características do ambiente de programação Arduino é sua simplicidade. Mesmo aqueles sem experiência anterior em programação podem rapidamente começar a escrever seu próprio código e controlar dispositivos eletrônicos. A linguagem de programação utilizada, baseada em C/C++, é fácil de entender e possui uma vasta biblioteca de funções pré-definidas, simplificando o desenvolvimento de projetos complexos.

Uma das vantagens do Arduino é a sua comunidade ativa e engajada. Existem fóruns, tutoriais, exemplos de projetos e bibliotecas disponíveis, o que facilita o compartilhamento de conhecimento e a colaboração entre os usuários. Isso torna o processo de aprendizado e desenvolvimento mais rápido e divertido. O Arduino é amplamente utilizado em uma variedade de projetos, desde simples projetos de automação residencial até complexos sistemas de controle industrial.

## 5.4 INTEGRAÇÃO IFTTT E ARDUINO

Ao utilizar o IFTTT em conjunto com o Arduino, é possível criar alertas por e-mail personalizados. O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que permite a criação de projetos eletrônicos personalizados, como sensores de temperatura, medidores de luz e uma variedade de outros dispositivos.

Essa integração entre o IFTTT e o Arduino possibilita a automação de ações específicas a partir de eventos detectados pelos dispositivos eletrônicos criados com o próprio Arduino. Por exemplo, é viável configurar uma receita no IFTTT para que, quando um sensor de temperatura conectado ao Arduino detectar uma leitura acima de um determinado limite, um alerta por e-mail seja criado e enviado automaticamente.

Essa combinação entre IFTTT e Arduino amplia as possibilidades de automação e controle, permitindo que os usuários criem soluções personalizadas para suas necessidades específicas. A capacidade de integração do IFTTT com o Arduino proporciona uma forma eficiente de utilizar os recursos do Arduino e dos serviços online suportados pelo IFTTT, expandindo as opções de automação disponíveis.

Para criar alertas por e-mail utilizando o IFTTT e o Arduino, é necessário seguir uma série de passos básicos, os quais são:

- Criar uma conta no IFTTT e conectar a conta de e-mail à plataforma: Primeiramente, é necessário acessar o site do IFTTT e criar uma conta. Após criar a conta, associar a conta de e-mail ao IFTTT. Isso permitirá enviar e receber alertas por e-mail por meio do serviço.
- Conectar o Arduino a um módulo Wi-Fi: Para que o Arduino possa se comunicar com a Internet e enviar sinais para o IFTTT, é necessário conectar a um módulo Wi-Fi. Isso pode ser feito utilizando um módulo Wi-Fi específico ou um Arduino com recursos de conexão Wi-Fi integrados, como o Arduino Uno Wi-Fi Rev2.
- Criar um script no Arduino para enviar um sinal para o IFTTT: Utilizar a linguagem de programação do Arduino para desenvolver um script que enviará um sinal para o IFTTT sempre que uma condição específica for

atendida. Por exemplo, configurar o Arduino para enviar um sinal para o IFTTT sempre que a temperatura medida por um sensor ultrapassar um determinado valor pré-estabelecido.

- Criar uma receita no IFTTT para enviar um alerta por e-mail: No IFTTT, criar uma receita (também conhecida como applet) que será acionada ao receber o sinal enviado pelo Arduino. Essa receita deverá ser configurada para enviar um alerta por e-mail. Ao criar a receita, será possível definir os detalhes do e-mail, como o destinatário, o assunto e o conteúdo da mensagem.
- Personalizar a mensagem de e-mail: Ao configurar a receita no IFTTT, será possível personalizar a mensagem de e-mail que será enviada sempre que a condição especificada pelo Arduino for atendida. Isso inclui a possibilidade de adicionar informações relevantes, como a temperatura registrada, a hora em que o evento ocorreu ou qualquer outra informação importante para o alerta.

Após seguir esses passos, o sistema estará configurado para enviar alertas por e-mail quando a condição estabelecida no script do Arduino for cumprida. Dessa forma, sempre que a condição for atendida, o Arduino enviará um sinal para o IFTTT, que, por sua vez, acionará a receita configurada para enviar um alerta por e-mail contendo a mensagem personalizada definida anteriormente.

O IFTTT proporciona diversas opções de integração para dispositivos inteligentes, incluindo o Arduino. Ao unir as capacidades do Arduino com a flexibilidade do IFTTT, é possível criar alertas personalizados para monitorar o ambiente ao seu redor e receber notificações sempre que uma condição específica for satisfeita. Essa combinação permite uma ampla gama de possibilidades, desde a detecção de temperatura, umidade ou movimento até o controle de dispositivos eletrônicos por meio de ações personalizadas.

## 5.5 RESULTADOS APÓS APLICAÇÃO

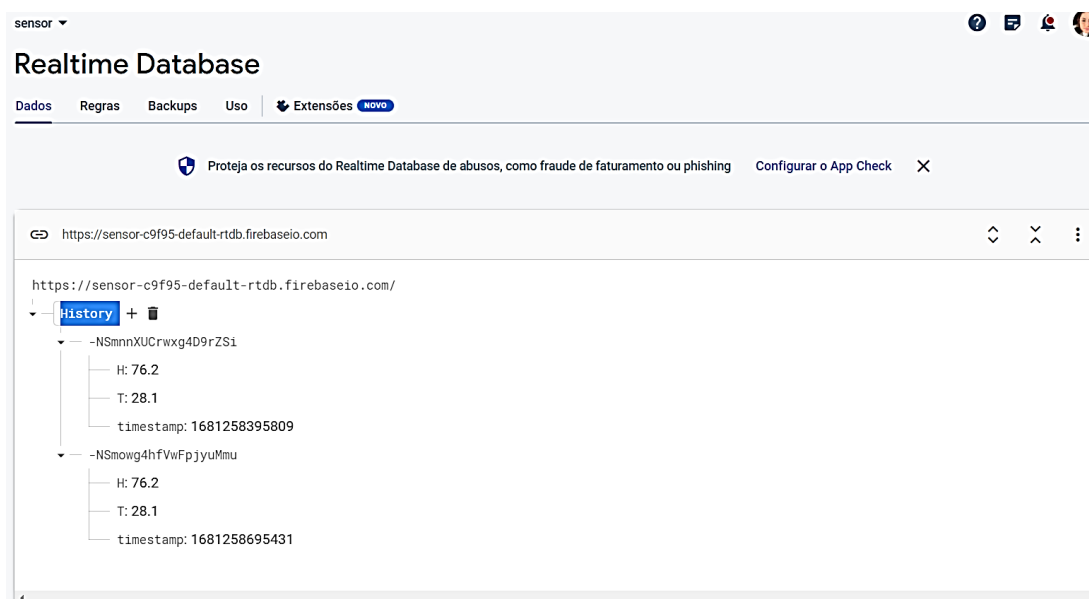
Para validar o projeto que envolve o armazenamento de dados no banco de dados em tempo real, assim como o envio de um e-mail de alerta caso a temperatura atinja um determinado valor, realizamos um teste detalhado. O objetivo

do teste era garantir que os dados de temperatura e umidade fossem armazenados corretamente a cada intervalo de 5 minutos e, caso a temperatura excedesse o limite estabelecido, um e-mail de alerta seria enviado.

Durante o teste, estabelecemos um valor de referência para a temperatura, que foi definido como 22°C. É importante ressaltar que esse valor estava abaixo da temperatura ambiente. Dessa forma, assim que o protótipo foi ligado e obteve as informações de temperatura e umidade, um e-mail de alerta seria enviado simultaneamente.

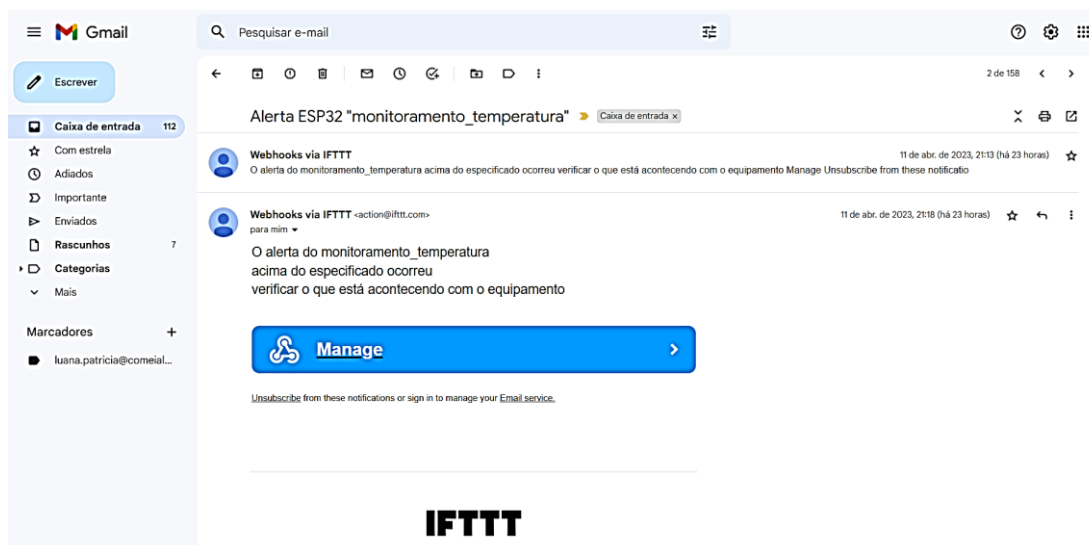
Através das imagens abaixo, que mostram a tela do banco de dados Firebase (Figura 6) e a caixa de entrada do e-mail (Figura 7), é possível constatar os resultados obtidos durante o teste.

Figura 6 – Tela do Firebase.



Fonte: A autora (2023).

Figura 7 – Tela do e-mail.



Fonte: A autora (2023).

Foi verificado que as temperaturas registradas foram de 28°C, um valor acima do limite estabelecido. Isso confirmou o correto funcionamento do projeto, uma vez que o e-mail de alerta foi enviado conforme esperado.

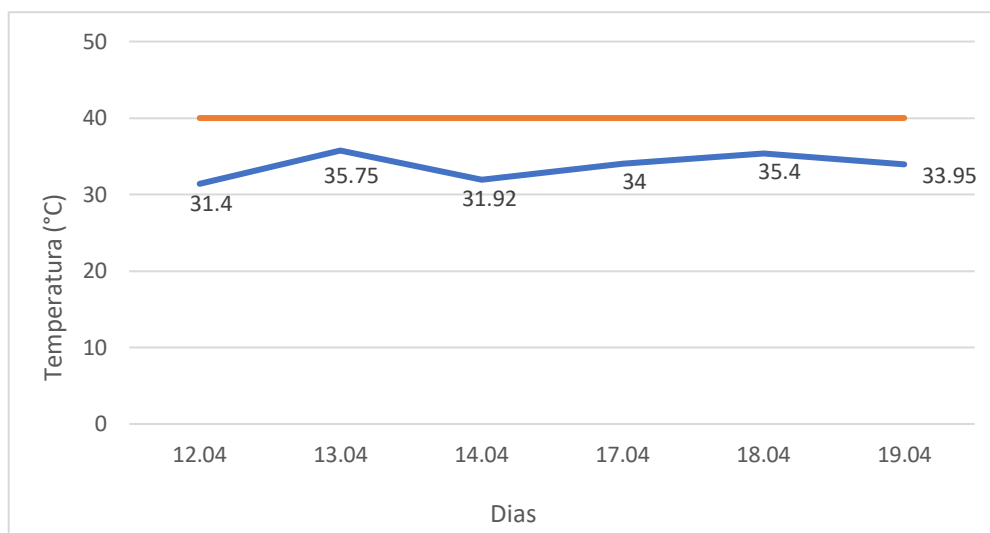
Essa validação foi fundamental para comprovar a eficácia e a precisão do projeto em relação à coleta e armazenamento de dados em tempo real, bem como ao envio de alertas por e-mail. Com base nesses resultados, pudemos concluir que esta etapa do projeto atendeu aos requisitos estabelecidos e pode ser validado com sucesso.

Após a instalação do protótipo no equipamento, iniciamos o processo de monitoramento em tempo real ao longo de um período de 6 dias produtivos, compreendendo o intervalo de 12 a 19 de abril de 2023. Durante esse período, os dados foram programados para serem coletados a cada intervalo de 20 minutos.

Durante o monitoramento contínuo, realizamos uma análise minuciosa dos dados coletados. O principal objetivo desta atividade era identificar quaisquer variações significativas ou valores fora das especificações estabelecidas.

Após a conclusão do período de monitoramento, ficou evidente que nenhuma grande variação ou valor fora do limite estabelecido foi observado nos dados coletados, como pode ser observado na Figura 8. Isto indica que o sistema operou de maneira estável e consistente ao longo do período analisado.

Figura 8 – Gráfico das temperaturas médias obtidas no período avaliado.



Fonte: A autora (2023).

Essa constatação é um indicativo positivo, demonstrando que o protótipo implementado foi capaz de coletar e registrar os dados de forma precisa e confiável. Além disso, confirma que o equipamento monitorado permaneceu dentro dos parâmetros especificados, sem apresentar desvios significativos que pudessem comprometer seu desempenho ou funcionamento adequado.

Com base nesses resultados, podemos concluir que o período de monitoramento foi bem-sucedido, fornecendo informações valiosas sobre o comportamento do equipamento ao longo do tempo. Essa análise detalhada dos dados nos permite ter maior confiança na eficácia e na estabilidade do sistema de monitoramento implementado.

## 5.6 GANHOS OBTIDOS COM O PROJETO

### 5.6.1 Custo do projeto

Após a implementação do projeto, podemos avaliar os ganhos financeiros percebidos com base nos indicadores relacionados ao valor do projeto e ao custo de manutenção. A Tabela 2 apresenta o valor total para a realização do projeto.

Tabela 2 – Custos envolvidos no projeto.

| Item         | Valor     |
|--------------|-----------|
| Placa ESP32  | R\$ 35,00 |
| Sensor DHT22 | R\$ 28,90 |
| Resistor 10k | R\$ 0,11  |

Fonte: A autora (2023).

O valor total do protótipo utilizado para o projeto foi de R\$ 64,01. Considerando o número total de 5 máquinas iguais na empresa, o investimento total para implantar o sistema nessas máquinas seria de R\$ 320,05.

### 5.6.2 Custo de manutenção

Os custos de manutenção é um fator essencial a ser considerado ao avaliar os ganhos do projeto, uma vez que estes impactam diretamente a eficiência operacional, a confiabilidade dos equipamentos e, consequentemente, a produtividade de uma empresa. Para calcular o valor total dos custos de manutenção, utilizamos a seguinte fórmula:

$$CM = C_{pr} \cdot Nr + C_t \cdot Hh \cdot Nr$$

Onde:

- $CM$  equivale ao custo de manutenção;
- $C_{pr}$  corresponde ao custo de peças de reposição;
- $C_t$  é igual ao custo do trabalho;
- $Hh$  representa homem-hora e;
- $Nr$  equivale à quantidade de peças/quantidade de pessoas impactadas.

Antes de abordarmos os ganhos que podem ser obtidos após a implementação do projeto de melhoria, é importante destacar os custos relacionados à manutenção dos principais componentes do painel elétrico antes do desenvolvimento deste projeto.

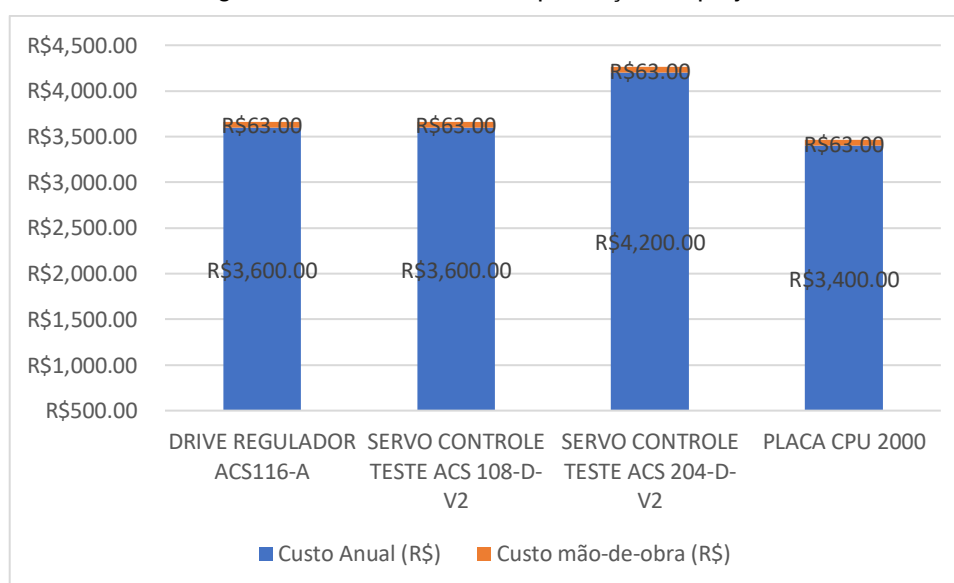
Um aspecto importante a ser considerado nesse processo é a necessidade de substituir os componentes, no presente estudo foi considerado que seria em um

período de aproximadamente cinco anos. Essa substituição periódica é crucial para manter a confiabilidade e a eficiência do painel elétrico, mas também implica em custos associados à aquisição das novas peças e ao trabalho envolvido na substituição.

Ao calcular o custo total da manutenção do painel elétrico, é fundamental levar em consideração não apenas o valor das peças de reposição, mas também os custos associados à mão de obra especializada e aos recursos utilizados no processo. Essa mão de obra especializada possui conhecimentos técnicos específicos e habilidades necessárias para lidar com os componentes elétricos complexos presentes no painel.

Além disso, o tempo dedicado à manutenção também é um fator a ser considerado. A substituição dos componentes requer um período de tempo significativo, durante o qual o painel elétrico pode ficar temporariamente indisponível. Isso pode resultar em interrupções nas operações e impactar negativamente a produtividade. Portanto, é importante calcular o custo associado à perda de produtividade durante o tempo de manutenção. Os custos anteriores à implementação do projeto podem ser observados no gráfico da Figura 9.

Figura 9 – Custo antes da implantação do projeto.

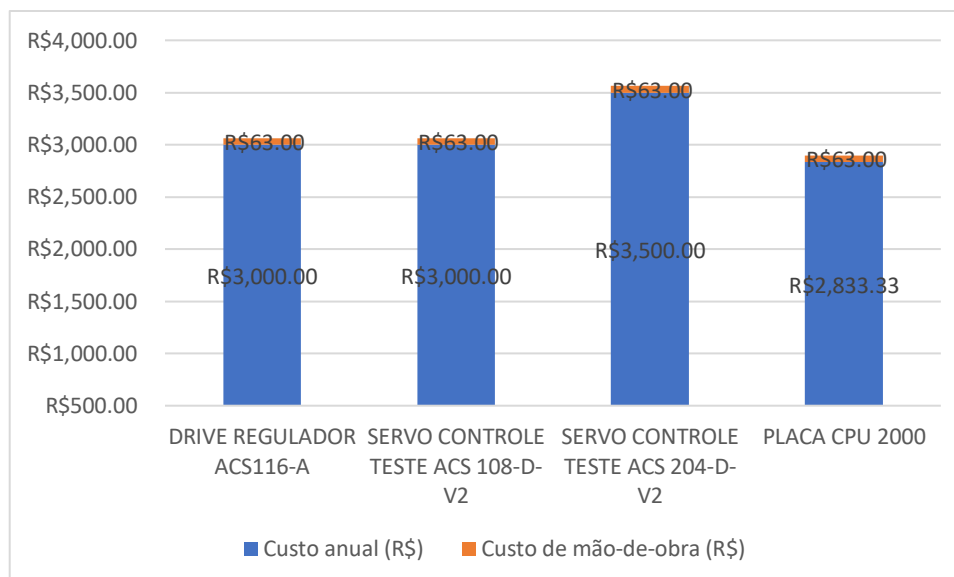


Fonte: A autora (2023).

Antes da implementação do projeto, os custos de manutenção por ano atingiam o valor expressivo de R\$ 19.252,00 por equipamento. Esses gastos representavam uma parcela considerável dos recursos financeiros da empresa,

impactando diretamente sua rentabilidade e competitividade. O gráfico apresentado na figura 10 apresenta os custos depois da implementação do projeto.

Figura 10 – Custo depois da implantação do projeto.



Fonte: A autora (2023).

A implementação do projeto traz resultados expressivos no que diz respeito aos custos de manutenção. Antes do projeto, os gastos anuais com manutenção representavam um ônus significativo para a empresa, impactando sua rentabilidade e eficiência operacional.

No entanto, com o desenvolvimento da manutenção preditiva e a utilização de tecnologias avançadas de monitoramento, foi possível alcançar uma redução expressiva de 16,4% nos custos de manutenção. Esse resultado é fundamental para a melhoria da gestão financeira da empresa, liberando recursos para investimentos em outras áreas estratégicas.

A redução de 16,4% nos custos de manutenção, resulta em um valor anual de R\$ 16.085,33 por equipamento, foi possível graças a uma série de fatores. Em primeiro lugar, a manutenção preditiva permite uma maior eficiência na detecção de falhas, identificando problemas antes mesmo que eles se tornem grandes e onerosos. Isso possibilita a realização de reparos e substituições programadas, evitando paradas não planejadas e minimizando o impacto na produção.

Além disso, a adoção de tecnologias avançadas de monitoramento proporciona um maior controle e acompanhamento dos equipamentos. Sensores e

sistemas de coleta de dados permitem uma análise mais precisa e detalhada do desempenho das máquinas, possibilitando a identificação de tendências e padrões de falhas. Com base nesses dados, é possível implementar ações corretivas e preventivas de forma mais eficiente e direcionada.

Outro aspecto importante é o aumento da vida útil dos equipamentos. Com a manutenção preditiva, é possível implementar práticas de cuidado e manutenção preventiva, garantindo que os equipamentos operem em condições ideais por um tempo maior. Isso reduz a necessidade de substituições frequentes de componentes e equipamentos, resultando em economias significativas.

Ademais, a redução dos custos de manutenção também tem um impacto positivo na produtividade e eficiência operacional da empresa. Com máquinas operando de forma mais estável e confiável, há uma diminuição dos tempos de parada e interrupções na produção. Isso resulta em um aumento na capacidade produtiva e na entrega de produtos aos clientes de forma mais rápida e eficiente.

O monitoramento de equipamentos desempenha um papel crucial na otimização do desempenho e na garantia da continuidade das operações industriais. Ao acompanhar de perto o comportamento dos equipamentos, é possível identificar qualquer distúrbio ou anomalia que possa afetar seu desempenho ou levar a paradas não programadas. Essa capacidade de detecção precoce permite que as equipes responsáveis ajam proativamente, programando intervenções no equipamento antes que problemas mais graves ocorram.

Além dos benefícios financeiros diretos, há também uma minimização nos impactos ambientais. Como os equipamentos permanecem úteis por um período maior de tempo é possível reduzir o desperdício e consumo dos recursos naturais.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados confirmam a importância da adoção de práticas preditivas e do uso de tecnologias avançadas na gestão de ativos e na busca pela eficiência operacional. A redução significativa nos custos de manutenção, como mencionado anteriormente, ratifica a eficácia e relevância desse projeto para a empresa.

A implementação da Manutenção Preditiva trouxe benefícios tangíveis. Além da redução dos custos de manutenção, o projeto tem um impacto positivo na disponibilidade e confiabilidade da máquina de corte de chicotes elétricos. A identificação precoce de falhas e a implementação de ações preventivas evitam paradas não programadas e interrupções na produção. Com isso, a empresa pode contar com uma maior capacidade produtiva, atendendo às demandas dos clientes de maneira mais eficiente e confiável.

Outro ponto relevante é o aumento da vida útil dos equipamentos. A Manutenção Preditiva permite monitorar e acompanhar constantemente o desempenho do painel elétrico e realizar intervenções proativas, evitando desgastes excessivos e prolongando a vida útil dos componentes. Com menos substituições e trocas frequentes, a empresa economiza em custos de peças de reposição e mão de obra.

Além dos ganhos financeiros e operacionais, a implementação da Manutenção Preditiva também reflete positivamente na imagem da empresa. Ao adotar práticas modernas e tecnologias avançadas, a organização demonstra seu compromisso com a eficiência, qualidade e sustentabilidade. Isso fortalece sua posição no mercado e a torna mais competitiva, conquistando a confiança e fidelidade dos clientes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTSCHE, Bruno. **Confiabilidade em engenharia automotiva e mecânica: determinação da confiabilidade de componentes e sistemas**. Berlim: Springer, 2008.

BRANCO FILHO, Gil. **Organização, o planejamento e o controle da manutenção**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna, 2020.

BRITO, Jorge Nei. **Desenvolvimento de um sistema inteligente híbrido para diagnóstico de falhas em motores de indução trifásicos**. 2002. 238 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

CARVALHO, André Moreira de; GOMES, Geraldo Messias; BORGES, Marcio de Castro; FERREIRA JÚNIOR, Nilton Braz. **Implantação de Sistema Informatizado para Planejamento e Controle da Manutenção – Empresa Vileflex**. 2009. 91 f. Monografia (Graduação em Tecnologia de Manutenção Industrial). Universidade do Vale do Rio Doce. Governador Valadares, 2009.

CARVALHO, Edgar Gomes Germano de. **Análise da viabilidade de implantação da manutenção preventiva dos equipamentos móveis em uma indústria cimenteira localizada na região centro-oeste de Minas Gerais**. 2011. 68 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). Centro Universitário de Formiga. Formiga, 2011.

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da manutenção: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional**. 2013. 104 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2013.

COSTA JUNIOR, Eudes Luiz. **Gestão em processos produtivos**. Curitiba: Ibpx, 2008.

CURTO CIRCUITO. **Conhecendo a placa DOIT ESP32**. Blog Curto Circuito [online], 2018. Disponível em: < <https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20IoT/conhecendo-esp32>> Acesso em 6 de maio de 2023.

CURVELLO, André. **ESP32 – Um grande aliado para o Maker IoT**. Portal Maker Hero [online], 2018. Disponível em: < <https://www.makerhero.com/blog/esp32-um-grande-aliado-para-o-maker-iot/>> Acesso em 5 de maio de 2023.

DIAS, Mateus. O que é ESP32? Pra que serve? Quando usar? Portal Lobo da Robótica [online], 2022. Disponível em: < <https://lobodarobotica.com/blog/o-que-e-esp32-pra-que-serve-quando-usar/>> Acesso em 6 de maio de 2023.

DIPECARR. **Conheça a importância dos chicotes elétricos automotivos**. Dipe carr [online]. 2012. Disponível em: < <http://www.quapro.com.br/conheca-importancia-dos-chicotes-eletricos-automotivos#:~:text=A%20principal%20fun%C3%A7%C3%A3o%2>>

Odos%20chicotes,de%20integrar%20todo%20o%20sistema. Acesso em 10 de fevereiro de 2023.

ELETROGATE. **Sensor de Umidade e Temperatura DHT22/Am2302**. Portal Eletrogate [online], 2022. Disponível em: <<https://www.eletrogate.com/sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302>> Acesso em 15 de junho de 2023.

FERNANDES, Dayane Freire; ANDRADE, Wilson Raphael Tomasi de. **Sistema para controle de iluminação residencial com uso da plataforma Arduino**. 2018. 66 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Universidade do Sul de Santa Catarina. Palhoça, 2018.

FRANÇA, Lucas Gonçalves de Oliveira. **Desenvolvimento de um plano de manutenção preventiva para um sistema eletrônico de extinção de faíscas em uma indústria de beneficiamento de madeira**. 2017. 68 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

FRANCO, Samuel Isidorio; GOMES, Rafael Borges. **Análise termográfica aliada a manutenção centrada na confiabilidade**. 2021. 30 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Faculdade Doctum. Juiz de Fora, 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7ª ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GRAÇA, Pedro Cannavale. **Sistema de aquisição de dados utilizando o módulo ESP8266 NodeMCU**. 2017. 44 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2017.

GUIMARÃES, Leonardo Miranda; NOGUEIRA, Cássio Ferreira; SILVA, Margarete Diniz Brás da. **Manutenção industrial: implementação da manutenção produtiva total (TPM)**. Exacta, v. 5, n. 1, 175-197, 2012.

IDEALI, Wagner. **Conectividade em automação e IoT: protocolos I2C, SPI, USB, TCP-IP entre outros. Funcionalidade e interligação para automação e ToT**. 1ª ed. rio de Janeiro: Alta Books, 2021.

INDIAMART. **Wire Crimping Komax Alpha 355 S 1300 Kg Fully Automatic Wire Processing Machine**. Indiamart [online], 2020. Disponível em: <<https://www.indiamart.com/proddetail/komax-alpha-355-s-1300-kg-fully-automatic-wire-processing-machine-20478914097.html>> Acesso em 15 de março de 2023.

LE MOS, Igor Anjos. **Planejamento e controle da manutenção em empresa do ramo alimentício: implantação e melhoria contínua**. 2019. 57 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Metalúrgica). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2019.

LIMA, Guilherme. **Saiba tudo sobre o IDE – Integrated Development Environment**. Portal Alura [online], 2022. Disponível em: <<https://www.alura.com.br/artigos/o-que-e-uma-ide>> Acesso em 10 de maio de 2023.

MACÊDO, Jorge Alberto Gomes de. **Planejamento e controle da manutenção preventiva como meios para diminuir a manutenção corretiva**. 2015. 66 f.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Administração). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2015.

MAGRANI, Eduardo. **A internet das coisas**. 1ª ed. Rio de Janeiro: FGV, 2018.

MAKERHERO. **Módulo WiFi ESP32 Bluetooth**. Portal MakerKero [online], 2022. Disponível em: <<https://www.makerhero.com/produto/modulo-wifi-esp32-bluetooth/>> Acesso em 15 de junho de 2023.

MARIAN, Luxas Ricardo; BARCELOS, Maurício Justino. **Aplicação de manutenção preditiva com análise termográfica em painéis elétricos em uma indústria do ramo cerâmico**. 2021. 48 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). Universidade do Sul de Santa Catarina. Balneário Camboriú, 2021.

MINHA OFICINA. **Chicotes elétricos: o papel fundamental em oficinas**. Blog Minha Oficina. Disponível em: <<https://minhaoficina.net/chicotes-eletricos-o-papel-fundamental-em-veiculos/>> Acesso em 15 de fevereiro de 2023.

MLYNARCZUK, Lucas Borges. **Aplicação de termografia para manutenção preditiva em painéis elétricos**. 2018. 40 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

MONCHY, François. **A função manutenção**. São Paulo: Durban, 1989.

MORAIS JUNIOR, Amauri Marcos Costa de. **Sistema de Monitoramento de Temperatura e Umidade Relativa do Ar – SIMTU-AR: Uma contribuição para a sala de máquinas da ressonância magnética do HUOL**. 2017. 39 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Biomédica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.

NASCIMENTO, Felisberto. **Conhecendo os Motores Rotativos (Wankel)**. Educação Tecnológica [online], 2009. Disponível em: <<https://felisbertoneto.blogspot.com/2009/08/conhecendo-os-motores-rotativos-wankel.html>> Acesso em 28 de janeiro de 2023.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutencao preditiva**. 1ª ed. São Paulo: Blücher, 1989.

OLIVEIRA, Euler. **Como usar com Arduino – Sensor de Umidade e Temperatura DHT22 / AM2302**. MasterWalker Electronic Shop [online], 2020. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershops.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-sensor-de-umidade-e-temperatura-dht22-am2302>> 5 de maio de 2023.

PILON, José Aguilar. **Manutenção preventiva sistemática de pneus em uma empresa de transporte público na cidade de Vitória – ES**. Em: XIV Simpósio de Engenharia de Produção. Anais... São Paulo, 2007. Disponível em: <[http://www.simpep.feb.unesp.br/anais\\_simpep.php?e=1](http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep.php?e=1)> Acesso em 9 de fevereiro de 2023.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. **Manutenção: função estratégica**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012.

QUINTANILLA, Christian Efraín Carballo. **Creación de manual de solución de errores de CFA y preparación de la máquina**. 2018. 39 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, 2018.

ROCHA, Lucas Vinicius da Silva. **Automação residencial: microcontrolador arduino através de uma aplicação web**. 2019. 61 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Computação). Centro Universitário de Brasília. Brasília, 2019.

RODRIGUES, Lucas Antônio; RODRIGUES, Thiago Amaro; SILVA, Rodrigo José da; OLIVEIRA, Odilon Hítalo Castro de. **Levantamento sobre a manutenção preditiva de falhas em conexões elétricas – análise termográfica**. Em: VIII Congresso de Engenharias da UFSJ. Anais... São João Del Rey, 2018.

SANTOS, Diego Armando Maradona dos. **Análise para melhoria de um processo de produção com aplicação da ferramenta DMAIC**. 2022. 289 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Produção). Centro de Ensino Superior em Gestão, Tecnologia e Educação – FAI. Santa Rita do Sapucaí, 2022.

SILVA, Brehmer Ribeiro da; ROCHA, Dalton de Souza; TEIXEIRA, Guilherme Mazeti; LUNARDON, Gustavo Henrique; TONIN, Rafael Stumpt. **Aplicação de manufatura enxuta em uma fábrica de chicotes elétricos: intervenção**. 2017. 49 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial). Centro Tecnológico Positivo. Curitiba, 2017.

SILVA, Isis Zaidan da. **Aplicação da termografia na manutenção de instalações elétricas industriais**. 2020. 71 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2020.

SILVA, Romeu Paulo da. **Gerenciamento do setor de manutenção**. 2004. 92 f. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Gestão Industrial). Universidade de Taubaté. Taubaté, 2004.

SIQUEIRA, Fernando José Souza de. **Melhoria em processo de montagem de chicotes elétricos: implementação de carrossel automático**. 2016. 68 f. Trabalho de conclusão de curso (Tecnólogo em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procopio, 2016.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistar; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 8ª ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, Breno Bezerra de. **Aplicação de metodologia wcm para desenvolvimento de um projeto de redução de custo em uma empresa automotiva**. 2021. 73 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2021.

SOUZA, Valdir Cardoso. **Organização e gerência da manutenção – planejamento, programação e controle da manutenção**. 3ª ed, revisada. São Paulo: All Print, 2009.

STEVAN JUNIOR, Sergio Luiz. **IOT – Internet das coisas: Fundamentos e aplicações em Arduino e NodeMCU**. 1ª ed. São Paulo: Érica, 2018.

TAVARES, Lourival Augusto. **Excelência na manutenção: estratégias, otimização e gerenciamento**. Salvador: Casa da Qualidade, 1996.

TOTVS. **Integrated Development Environment: Conheça suas funções**. Portal Totvs [online], 2020. Disponível em: <<https://www.totvs.com/blog/developers/integrated-development-environment/>> Acesso em 10 de maio de 2023.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 9ª ed. São Paulo: Atlas, 2007.

WAEYENBERGH, G. Cibocof. **Uma estrutura para o desenvolvimento do conceito de manutenção industrial**. Leuven, Belgica: Katholieke Universiteit Leuven, 2005.

XAVIER, Francisco José Cavalcante. **Manutenção como atividade de gestão e estratégia: um estudo na empresa Alfa do Polo Industrial de Manaus**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos). Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará. Belém, 2015.

## ANEXOS

### Anexo A – Programação do protótipo

Programação:

```
#include <WiFi.h> //Lib WiFi
#include <SimpleDHT.h> //Lib DHT
#include <IOXhop_FirebaseESP32.h> //Lib Firebase
#include <ArduinoJson.h> //Lib para a manipulação de Json
#include <WiFiMulti.h>
#include <HTTPClient.h>

#define SSID "usuárioderede" //coloque o nome da sua rede Wifi
#define PASSWORD "senhadarede" //coloque a senha da sua rede Wifi
#define DHTPIN 26 //pino de conexão do sensor DHT22
#define FIREBASE_HOST "https://sensor-c9f95-default-rtdb.firebaseio.com" //coloque
o endereço do seu banco de dados Firebase
#define FIREBASE_AUTH "" //coloque o token de autenticação do seu banco de dados
Firebase
#define INTERVAL 300000 //Intervalo entre cada leitura do sensor

String                               Url_IFFT                                =
"https://maker.ifttt.com/trigger/monitoramento_temperatura/with/key/c7uQi22GC05kCD
PmLAGUHY";

//Objeto que realiza a leitura da umidade e temperatura
SimpleDHT22 dht;

//Variáveis que vão guardar o valor da temperatura e umidade
float temperature, humidity;

//Marca quando foi feita a última leitura
uint32_t lastTimeRead = 0;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  //Inicializa a conexão com a rede WiFi
  setupWiFi();

  //Inicializa a lib do Firebase
  Firebase.begin(FIREBASE_HOST, FIREBASE_AUTH);
}
//Conexão com a rede WiFi
void setupWiFi()
{
  WiFi.disconnect();
  WiFi.mode(WIFI_STA);

  //Tenta conectar à rede que possui este SSID e senha
  WiFi.begin(SSID, PASSWORD);
  Serial.println("");

  //Enquanto não estiver conectado à rede WiFi
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
```

```

        delay(500);
        Serial.print(".");
    }

    //Se chegou aqui está conectado
    Serial.println("");
    Serial.print("Connected to ");
    Serial.println(SSID);

    Serial.print("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
}
void loop()
{
    //Tempo em milissegundos desde o boot do esp
    unsigned long now = millis();

    //Se passou o intervalo desde a última leitura
    if(now - lastTimeRead > INTERVAL)
    {
        //Faz a leitura do sensor
        readSensor();

        //Envia para o Firebase
        sendToFirebase();

        //Marca quando ocorreu a última leitura
        lastTimeRead = now;

        if (temperature>22)
        {
            HTTPClient http;
            Serial.print("Iniciando [HTTP] ...\n");
            http.begin(Url_IFFT); //ENVIA LA PETICION HACIA IFFT

            Serial.print("Espera Respuesta [HTTP] ...\n");
            int httpCode = http.GET();

            if(httpCode > 0) {

                Serial.printf("Captura codigo [HTTP] ...: %d\n", httpCode);

                if(httpCode == HTTP_CODE_OK) {
                    String payload = http.getString();
                    Serial.println(payload);
                }
                else {
                    Serial.printf("Captura [HTTP] GET... FALLIDO, ERROR: %s\n",
http.errorToString(httpCode).c_str());
                }

                http.end();
            }
        }
    }
}
//Realiza a leitura da temperatura e umidade

```

```

void readSensor()
{
    float t, h;
    //Coloca o valor lido da temperatura em t e da umidade em h
    int status = dht.read2(DHTPIN, &t, &h, NULL);

    //Se a leitura foi bem sucedida
    if (status == SimpleDHTErrSuccess) {
        //Os valores foram lidos corretamente, então é seguro colocar nas variáveis
        temperature = t;
        humidity = h;
    }
}
//Envia a temperatura e umidade para o Firebase
void sendToFirebase()
{
    //Buffer para a criação dos jsons
    StaticJsonBuffer<150> jsonBufferSensor;
    StaticJsonBuffer<50> jsonBufferTimestamp;
    //Criamos o objeto json que será enviado
    JsonObject& sensorData = jsonBufferSensor.createObject();
    sensorData["T"] = temperature; // Inserimos os atributos de temperatura
    sensorData["H"] = humidity; // Inserimos os atributos de umidade
    //Criamos o objeto json referente ao timestamp (Json auxiliar)
    JsonObject& timestamp = jsonBufferTimestamp.createObject();
    //Marcamos como um valor que o server do Firebase irá preencher com o timestamp
    timestamp[".sv"] = "timestamp";
    //Inserimos o json referente ao timestamp no json que será enviado
    sensorData["timestamp"] = timestamp;
    //Enviamos o json sensorData para o Firebase no path /History
    Firebase.push("/History", sensorData);
    //Limpamos os buffers dos jsons
    jsonBufferTimestamp.clear();
    jsonBufferSensor.clear();
}

```