

ESTUDO DE CASO SOBRE O USO DE SENSORES IOT NO MONITORAMENTO EM TEMPO REAL DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Clóvis de Almeida Carvalho¹, Adriana Giseli Leite Carvalho²

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a aplicação de tecnologia IoT no monitoramento em tempo real de equipamentos elétricos críticos em uma indústria alimentícia. A pesquisa comparou os indicadores de manutenção nos períodos pré e pós-implantação do sistema, com foco em métricas como MTTR, MTBF, disponibilidade e OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). A coleta de dados envolveu registros operacionais e sensores instalados no ativo monitorado, permitindo a transição de um modelo reativo para uma abordagem preditiva, alinhada aos princípios da Indústria 4.0 e às diretrizes da norma ISO 55000, que incentivam a gestão baseada em riscos, dados e integração digital. Os resultados demonstraram que, com a IoT, o tempo médio de reparo foi reduzido de 5 para 1 hora, enquanto a disponibilidade operacional aumentou de 98,97% para 99,95%. O OEE, calculado com base em uma performance e qualidade simuladas de 90% e 98%, respectivamente, evidenciou uma melhora gradual, consolidando-se em 88,2%. A integração dos sensores com o sistema de gestão SAP e a análise de vibração por FFT contribuíram para diagnósticos antecipados e intervenções mais eficazes, reforçando o papel da manutenção preditiva na eficiência e continuidade dos processos industriais.

Palavras-chave: IoT, Manutenção Preditiva, Vibração, FFT, Indústria 4.0.

ABSTRACT

This study presents a case analysis of the application of IoT technology for real-time monitoring of critical electrical equipment in a food industry setting. The research compares maintenance indicators before and after the implementation of the monitoring system, focusing on metrics such as MTTR, MTBF, availability, and OEE (*Overall Equipment Effectiveness*). Data collection involved both operational records and sensor readings installed on the monitored asset, enabling a shift from a reactive maintenance model to a predictive approach aligned with Industry 4.0 principles and ISO 55000 guidelines, which emphasize risk-based asset management and digital integration. Results showed that with IoT implementation, the mean time to repair was reduced from 5 to 1 hour, while equipment availability increased from 98.97% to 99.95%. The OEE, calculated using simulated performance and quality values of 90% and 98% respectively, showed a progressive improvement, reaching 88.2% in the consolidated period. The integration of sensors with the SAP management system and the use of FFT-based vibration analysis enabled early diagnostics and more effective interventions, reinforcing the role of predictive maintenance in ensuring industrial efficiency and operational continuity.

Keywords: IoT, Predictive Maintenance, Vibration, FFT, Industry 4.0.

¹ Acadêmico da Engenharia Elétrica da UniSENAI-Campus Londrina, clovis.carvalho5@sesisenaipr.org.br

² Docente orientadora da UniSENAI-Campus Londrina, adriana.carvalho@sistemafiep.org.br

1 INTRODUÇÃO

A crescente digitalização da indústria, impulsionada pelo advento da Indústria 4.0, tem transformado profundamente a forma como os ativos industriais são monitorados e gerenciados. Nesse cenário, a Internet das Coisas (IoT) destaca-se como uma tecnologia-chave, permitindo a interconexão de sensores, máquinas e sistemas em redes inteligentes capazes de coletar, transmitir e analisar dados em tempo real. No setor elétrico e industrial, o monitoramento contínuo dos equipamentos é essencial para garantir a confiabilidade operacional, e com o apoio da IoT estão os indicadores de manutenção MTBF (*Mean Time Between Failures*), que mede o tempo médio entre falhas, o MTTR (*Mean Time To Repair*), que indica o tempo médio para reparo, e o índice de disponibilidade das máquinas. Reduzir custos de manutenção e maximizar a vida útil dos ativos.

De acordo com Romkey *apud* Telles, Kolbe Júnior (2022), o primeiro dispositivo considerado como pertencente à Internet das Coisas (IoT) foi uma torneira conectada à internet. Até 1998, a expansão de redes IoT em larga escala era praticamente inviável, uma vez que o protocolo IPv4 (Protocolo de Internet versão 4) não disponibilizava um número suficiente de endereços de IP para suportar essa demanda. Com o surgimento do protocolo IPv6 (Protocolo de Internet versão 6), esse obstáculo foi superado, possibilitando o crescimento exponencial da conectividade entre dispositivos.

No contexto industrial, a aplicação de sensores IoT em equipamentos elétricos viabiliza o monitoramento contínuo de variáveis críticas, como temperatura, vibração, corrente e tensão. Essa capacidade de acompanhamento em tempo real possibilita a identificação precoce de falhas e favorece a adoção de estratégias de manutenção preditiva, reduzindo riscos e otimizando recursos.

Duraes, Ferreira e Manzan (2022) complementa que, a evolução dessas tecnologias viabiliza cenários de soluções que há poucos anos eram apenas disponíveis a grandes empresas ou mediante grandes investimentos em infraestrutura, que estavam completamente fora de alcance de muitas empresas. Embora o termo Internet das coisas seja relevante recentemente, soluções que conectam dispositivos a data centers ou sistemas distribuídos já existe há algumas

décadas em cenários como: caixa eletrônicos, telecomando em subestações de energia elétrica e monitoramento em tempo real da frota de ônibus de uma cidade.

Todos esses projetos exigiram um grande investimento por parte das empresas além de um alto risco e tempo para implementação da solução. De acordo com Duraes, Ferreira e Manzan (2022), com uma maior acessibilidade a essa tecnologia a expectativa até 2030 é de 1 trilhão de dispositivos IoT em funcionamento. Isso tem se mostrado devido queda no custo de fabricação de sensores, queda do custo de coleta e armazenamento de dados em nuvem, expansão do acesso à internet e crescimento do poder computacional.

Esse avanço tecnológico tem permitido a implementação de soluções cada vez mais acessíveis e eficientes, especialmente em setores como o alimentício que passa por diversos desafios operacionais, tendo como a principal matéria-prima proveniente do recorte do couro bovino, descartado de processos como a fabricação de sapatos, bancos de automóveis e outros artefatos. Nesse cenário, o parque fabril, composto por uma variedade de equipamentos com motores de pequeno e grande porte, opera em condições adversas, como vibrações intensas, altas temperaturas e outras exigências relacionadas ao processo produtivo.

A implementação do monitoramento da planta tem como objetivo permitir o acompanhamento remoto e ágil do processo, além de facilitar o planejamento da manutenção preditiva, visando evitar possíveis interrupções na produção onde uma parada inesperada por quebra de máquina acarreta desperdício e retrabalho empacotando no custo do produto acabado e baixando a competitividade junto ao mercado.

Diante de um cenário onde a conectividade e informações se tornaram ferramentas essenciais para obtenção e análise de dados, esse trabalho tem como objetivo o estudo de caso sobre o uso de sensores IoT no monitoramento em tempo real de equipamentos elétricos auxiliando o planejamento e tomadas de decisão no setor de manutenção. Sendo possível integrar dispositivos obtendo e informações importantes, aplicamos a coleta de dados dos equipamentos através da rede. Com sensoriamento adequado, pode-se observar o comportamento dos equipamentos que tem alta criticidade para o processo produtivo visando uma manutenção mais assertiva, com redução dos custos de manutenção e obtendo uma maior vida útil do ativo e gerando disponibilidade de máquina.

Essa abordagem está em consonância com Sinclair (2018), onde destaca que a IoT permite transformar dados brutos em conhecimento estratégico, otimizando processos e elevando a disponibilidade das máquinas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Fundamentos da Internet das Coisas (IoT)

Para Sinclair (2018), IoT no dia a dia das casas deixaram de ser apenas casas normais e se tornaram automatizadas e inteligentes, com segurança gestão de energia e simplesmente facilitando o uso dentro de imóveis residenciais e comerciais. Trazendo um conforto como, abrir uma cortina com um clique no celular ou comando de voz, acender uma iluminação entre outras possibilidades de automação no cenário residencial.

A Internet das Coisas é um conceito que se refere à conexão digital de objetos físicos com a internet, permitindo que esses dispositivos coletem, troquem e analisem dados de forma autônoma. A IoT tem o potencial de revolucionar processos, reduzir custos, aumentar a eficiência e melhorar a tomada de decisões em tempo real. Aplicada à indústria integra dispositivos inteligentes e sistemas de análise de dados avançados, com o propósito de criar soluções ágeis e eficientes para monitoramento, coleta, processamento e entrega de informações relevantes à tomada de decisões estratégicas. Nesse contexto, as plataformas IoT atuam no tratamento e organização de grandes volumes de dados provenientes de dispositivos em campo, convertendo-os em informações úteis que agregam valor ao ser humano — seja por meio do aumento da lucratividade, da melhoria de processos, da elevação do conforto e da agilidade no cotidiano, ou ainda pela ampliação da qualidade de vida e dos serviços prestados (Bertoleti, 2025).

2.2 Tecnologias de Sensores IoT em Monitoramento Industrial

IoT nos ambientes e nas atividades comerciais em grandes cidades, como transporte e saúde, a IoT tem se mostrado indispensável para acompanhamento de dados e análises, em muitos lugares que observamos os equipamentos estão sendo instrumentados para transmissão de dados aos proprietários e usuários tendo melhorado a relação entre os fornecedores de serviços e clientes.

De acordo com Telles (2022), como o longo avanço da IoT, as empresas que não entenderam essa necessidade de certo que ficaram para trás, pois com as análises antecipada do processo, gerenciamento correto e coleta de dados seja no ambiente comercial ou industrial a gestão de ativos se faz mais eficaz trazendo uma maior previsibilidade. Já na indústria permiti a conexão e a comunicação entre máquinas, sensores e sistemas em tempo real. Essa tecnologia possibilita o monitoramento contínuo de equipamentos, a coleta de dados precisos e a automação de processos, aumentando a eficiência, reduzindo custos operacionais e minimizando falhas. Em vista de os dispositivos são partes importantes do processo, fisicamente eles têm tipos e tamanhos diferentes de maior ou menor capacidade de processamento fazendo a conexão de coisas em longas e curtas distancias podendo ter características para diferentes variáveis como vibração, microfones, umidade de solo entre outros tipos.

2.3 Diagnóstico de falhas

O monitoramento contínuo de vibração baseados em IoT tem um impacto significativo na redução de custos industriais, especialmente no que se refere à manutenção de máquinas. Ao utilizar sensoriamento e conectividade em tempo real, é possível identificar falhas em estágios iniciais, evitando paradas inesperadas e intervenções corretivas mais caras. Esse tipo de monitoramento possibilita a transição de uma manutenção reativa para uma abordagem preditiva, o que reduz o tempo de inatividade e prolonga a vida útil do ativo monitorado. Além disso, os custos operacionais são otimizados, uma vez que as decisões de manutenção passam a ser baseadas em dados concretos, e não em estimativas ou cronogramas fixos. Dessa forma, o uso do IoT no diagnóstico de falhas se mostra uma solução economicamente viável e estrategicamente vantajosa para a indústria.

2.4 Sensores IoT Protocolos de Comunicação e Redes para IoT

Nos sistemas IoT industriais, a comunicação entre dispositivos é viabilizada por uma variedade de protocolos, como *MQTT*, *CoAP* e *HTTP*, que são escolhidos de acordo com os requisitos de desempenho, segurança e consumo de energia. Esses dispositivos podem operar em diferentes modelos de comunicação, como máquina-a-máquina (M2M), cliente-servidor ou publicação/assinatura, dependendo da aplicação.

As redes utilizadas variam entre locais, utilizando protocolos de rede como *Wi-Fi*, *Zigbee*, *Bluetooth*, *LTE*, *NB-IoT* e *LoRaWAN*, permitindo desde o controle em tempo real dentro da planta até o monitoramento remoto em larga escala. No entanto, a conectividade confiável e a segurança ainda representam grandes desafios, pois falhas de rede podem comprometer a eficiência dos processos, e vulnerabilidades podem expor dados sensíveis ou permitir ataques cibernéticos. Assim, é essencial adotar estratégias robustas de criptografia, autenticação e gerenciamento de rede para garantir a integridade e a continuidade das operações industriais baseadas em IoT.

De acordo com, Thomazini (2007) os sensores que monitoram vibração têm acelerômetro e giroscópio eles fornecem sinal elétrico de acordo com a aceleração do ponto medido (ex. mancal de um motor) sendo relativo à inércia como uma constante já prefixada do eixo inercial. O acelerômetro converte aceleração em tensão elétrica que se são convertidos pelos sistemas embarcados contendo Microprocessadores como *ARM* (tecnologia que executa conjunto de tarefas por ciclo com eficiência energética) *ESP32* (embarcado com arquitetura de 32 bits), usam para sua comunicação protocolos como Modbus, *CAN* (Rede de área do controlador) e Ethernet/IP (Protocolo de rede industrial), *MQTT* (Protocolo de mensagens baseado em publicação/assinatura em nuvem) fazendo a interface com execução de tarefas específicas dentro do processo com sistemas operacionais Linux (sistema operacional de código aberto), *Yocto* (fornece ferramentas para criar distribuições Linux personalizadas para sistemas embarcados), *RTOS* (sistema operacional de tempo real, projetado para executar tarefas com precisão e tempo garantido) e tendo como protocolos de redes industriais *Profibus*, *OPC UA*. Em suma, suas ferramentas de linguagem podem ser *C*, *C++*, *Python*, *Leder* (comumente usados em CLPs). É evidente que quando se tem uma eficiência geral dos equipamentos OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) por certo podemos identificar perdas e melhorias garantindo disponibilidade, desempenho e qualidade. O modelo do sensor é apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Sensor de vibração IoT



Fonte: SEMEQ (2025)

Os sensores de vibração para ambientes industriais têm por suas características principais *Heavy Duty* (serviço pesado), isto é, Alta resistência a ataques químicos, água e poeira. *FFT* (Transformada Rápida de Fourier), Envelope, Onda no Tempo, e Nível Global, e trabalhando com resposta de frequência 10kHz tendo comunicação sem fio wireless via *Bluetooth® Low Energy 5.1* com bateria de longa duração e características sustentáveis já visando uma boa relação com o meio ambiente, IoT com grau de proteção IP 69 K+++.

A características do Sensor de vibração usado para coleta de dados comumente usados nos ambientes industriais para monitoramento de vibração, medem a aceleração da vibração através de acelerômetros ou velocímetros que capturam a velocidade da vibração que são usados na detecção de falhas mecânicas, tendo uma faixa de medição normalmente em uma frequência de 1Hz a 10Hz com sensibilidade medida em mV/g (milivolts por aceleração da gravidade) definindo o nível de resposta do sensor às vibrações, que encaminha sinais analógicos entre 4 e 20mA e tensão em mV ou ainda digitais *Modbus*, *Ethernet*, *Wireless*(rede sem fio) (SEMEQ, 2025).

Para a conexão do sensor, na figura 02, traz o embarcado que tem como sua característica, conecta-se com sensores SEMEQ (vibração, ultrassom, temperatura, umidade) via *Bluetooth® Low Energy 5.1* e trazendo uma boa integração garantido conectividade em nuvem de dados através de Cabo *Ethernet*, *Wi-Fi*, conexão 3G ou 4G Integração via OPC, Modbus (*Ethernet* e *RS485*), Historiador e EAM e Atualização de *firmware remota* (OTA).

Figura 2 – Embarcado IoT



Fonte: SEMEQ (2025)

A comunicação eficiente entre dispositivos IoT é fundamental para garantir a integração e o funcionamento adequado de sistemas inteligentes em ambientes industriais, diversos protocolos de comunicação e arquiteturas de rede têm sido desenvolvidos para atender às necessidades específicas de conectividade, entre eles destacam-se o protocolo MQTT é amplamente utilizado em aplicações de Internet das Coisas (IoT) devido à sua leveza, eficiência e baixo consumo de largura de banda. Tornando-se uma escolha robusta e confiável para o monitoramento e controle de sistemas IoT.

2.5 Manutenção Preditiva e Monitoramento em Tempo Real de Equipamentos Elétricos

Diante da busca por maior produtividade e redução de custos em seus processos, a manutenção industrial se destaca como um fator estratégico para a competitividade. A efetividade dessa função depende da qualidade das atividades executadas, da sua adequação ao tipo de processo produtivo e de um planejamento alinhado às necessidades críticas da manufatura (Fabro, 2003).

A manutenção preditiva baseada em IoT tem se destacado como uma abordagem estratégica na gestão de ativos industriais, permitindo antecipar falhas e otimizar a operação de equipamentos elétricos. Ao contrário da manutenção corretiva ou preventiva tradicional, a preditiva utiliza sensores inteligentes e tecnologias de monitoramento em tempo real para coletar dados sobre variáveis críticas, como temperatura, corrente, tensão e vibração. Esses dados são analisados por meio de algoritmos e sistemas de inteligência artificial, permitindo a identificação de padrões que indicam o desgaste ou mau funcionamento dos componentes antes que ocorra uma falha.

A manutenção IoT representa uma evolução significativa na forma como os ativos industriais são gerenciados, integrando sensores inteligentes, conectividade em tempo real e análise de dados para realizar o acompanhamento contínuo das condições operacionais dos equipamentos. Dentro desse contexto, a manutenção preditiva ganha destaque por permitir a identificação de falhas potenciais antes que elas causem interrupções ou danos maiores. De acordo Bueno (2020), a manutenção preditiva tem como objetivo principal “monitorar o desempenho e a condição dos equipamentos em operação para antecipar falhas e agir no momento ideal”, otimizando recursos e evitando paradas não planejadas. Com o suporte das tecnologias habilitadoras da Internet das Coisas (IoT), essa abordagem se torna mais precisa, eficiente e acessível.

Entre as principais técnicas e ferramentas utilizadas no monitoramento em tempo real de equipamentos elétricos, destacam-se a análise de vibração, termografia infravermelha, monitoramento de corrente e tensão, além do uso de sensores de temperatura e sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*). Essas tecnologias permitem uma leitura detalhada e contínua das variáveis críticas dos ativos, fornecendo dados essenciais para sistemas de análise preditiva. A conectividade proporcionada pela IoT também possibilita a integração dessas ferramentas com plataformas em nuvem, facilitando o acesso remoto às informações e a tomada de decisões estratégicas baseadas em dados. Assim, a manutenção IoT se consolida como uma solução moderna e eficaz para garantir a confiabilidade e a performance dos equipamentos elétricos industriais.

2.6 Impacto da IoT na Eficiência Operacional e Redução de Custos Industriais

A adoção de tecnologias baseadas em IoT tem promovido transformações significativas na forma como os processos industriais são conduzidos, especialmente no que se refere à gestão de ativos e à eficiência operacional. São soluções que contribuem para decisões mais precisas e intervenções pontuais, evitando falhas inesperadas e paradas não programadas. Conforme destaca Bueno (2020), o uso de tecnologias conectadas proporciona maior controle sobre os equipamentos, o que reflete diretamente na redução de custos com manutenção, no prolongamento da vida útil dos ativos e no aumento da disponibilidade dos recursos produtivos. Dessa forma, ainda que de maneira indireta, a integração da IoT ao ambiente industrial impulsiona

ganhos em produtividade e competitividade ao tornar os processos mais inteligentes, ágeis e sustentáveis.

A Internet das Coisas (IoT) tem se mostrado uma ferramenta estratégica na transformação da manutenção industrial, ao viabilizar o monitoramento em tempo real, a automação de processos, a gestão eficiente de ativos e a manutenção preditiva. Esses recursos não apenas otimizam o ciclo de vida dos equipamentos, mas também contribuem para a redução de custos e o aumento da disponibilidade operacional. Além disso, a integração da IoT com algoritmos de aprendizado de máquina permite prever falhas com base em dados históricos e atuais, tornando o planejamento das intervenções de manutenção mais eficiente (Gonçalves, 2016).

2.7 Indicadores de Manutenção

O MTBF (*Mean Time Between Failures*), ou Tempo Médio Entre Falhas, é um dos principais indicadores utilizados na área de manutenção industrial, especialmente em estratégias voltadas à confiabilidade operacional. Esse índice permite calcular o tempo médio em que um equipamento reparável permanece em pleno funcionamento antes de apresentar uma falha, oferecendo uma visão clara sobre sua confiabilidade. Em um contexto de manutenção preditiva ou preventiva, o MTBF é essencial para auxiliar no planejamento de intervenções mais assertivas, reduzindo paradas inesperadas, otimizando recursos e aumentando a eficiência dos processos produtivos. Assim, conhecer e aplicar corretamente esse indicador contribui diretamente para a tomada de decisões mais estratégicas e sustentáveis dentro da gestão de ativos. O Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) pode ser calculado conforme a equação (1).

$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total de Operação}}{\text{Número de Falhas}} \quad (1)$$

O MTTR (*Mean Time To Repair*), ou Tempo Médio para Reparo, é um indicador diretamente ligado à manutenibilidade dos equipamentos, ou seja, à capacidade e facilidade com que uma equipe de manutenção consegue restaurar o funcionamento de um ativo após a ocorrência de uma falha. Esse índice permite entender, de forma clara, quanto tempo é necessário, em média, para que uma máquina volte a operar normalmente após parar por algum defeito. Monitorar o MTTR é fundamental para

identificar gargalos nos processos de manutenção, melhorar a eficiência das intervenções corretivas e reduzir o tempo de indisponibilidade dos ativos. Quanto menor o MTTR, mais ágil e eficiente tende a ser a manutenção, refletindo em maior produtividade e menor impacto nas operações da empresa (TRACTIAN, 2025). O Tempo Médio para Reparo (MTTR) pode ser calculado conforme a equação (2).

$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Reparo}}{\text{Número de Falhas}} \quad (2)$$

OEE (*Overall Equipment Effectiveness*), ou Eficiência Global dos Equipamentos, é uma métrica amplamente utilizada na indústria para avaliar o desempenho real de uma máquina ou linha de produção. Ele é obtido a partir da multiplicação de três fatores essenciais: disponibilidade, performance e qualidade. A disponibilidade refere-se ao tempo em que o equipamento está efetivamente operando em relação ao tempo planejado; a performance considera se a produção está ocorrendo na velocidade ideal; e a qualidade analisa a proporção de produtos fabricados sem defeitos. De forma integrada, o OEE fornece uma visão abrangente sobre a eficiência do processo produtivo, permitindo identificar perdas e direcionar ações de melhoria contínua. Por isso, esse indicador é uma ferramenta estratégica na gestão industrial, auxiliando na tomada de decisões mais precisas e no aumento da competitividade da operação, e pode ser calculado de acordo com a equação 3.

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Performance} \times \text{Qualidade} \quad (3)$$

De acordo com Molina (2010), o indicador OEE é fundamental para avaliar a eficiência de um equipamento, pois considera simultaneamente a disponibilidade, a performance e a qualidade do processo produtivo, permitindo uma análise completa do desempenho operacional.

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi conduzido em uma indústria do setor alimentício, onde o setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) fundamentava suas decisões

preditivas principalmente nas ordens de serviço (OS) geradas durante as rotinas de manutenção. Embora esse modelo tradicional fosse funcional, ele apresentava limitações significativas no que diz respeito à antecipação de falhas e à ausência de coleta contínua de dados em tempo real, o que comprometia a análise precisa das condições operacionais dos ativos críticos do processo. Ressalta-se, inclusive, que a empresa parceira dispunha de um histórico de manutenção pouco estruturado antes da adoção do sistema IoT, dificultando comparações quantitativas mais consistentes.

Com o objetivo de tornar a manutenção mais eficiente e preditiva, foi implantado serviço com sistema IoT de monitoramento de vibração nas máquinas elétricas críticas. Através de sensores SEMEQ conectados e envio contínuo de dados, foi possível identificar variações sutis no comportamento dos equipamentos, permitindo intervenções mais rápidas e assertivas. Este estudo analisa de forma comparativa os resultados obtidos antes e depois da implementação do sistema, destacando os ganhos em confiabilidade, redução de paradas não planejadas e melhora na tomada de decisões pela equipe de manutenção.

O ativo analisado neste estudo foi um moinho quebrador, equipamento de alta criticidade dentro do processo produtivo. Sua importância se deve ao impacto direto que exerce na continuidade e eficiência da produção de semiacabados. Diante disso, a antecipação de falhas nesse ativo torna-se essencial para garantir a operação contínua e evitar prejuízos. Quando ocorrem paradas inesperadas, o moinho quebrador pode gerar retrabalho e perdas significativas no processo, resultando, em média, em cerca de quatro horas de inatividade entre o chamado (ocorrência) e finalização da manutenção. Esse tempo pode variar de acordo com a natureza da falha, que pode ir desde problemas simples, como uma falha de comunicação na rede, até situações mais complexas, como a quebra de um rolamento trazendo assim a importância do monitoramento em tempo real.

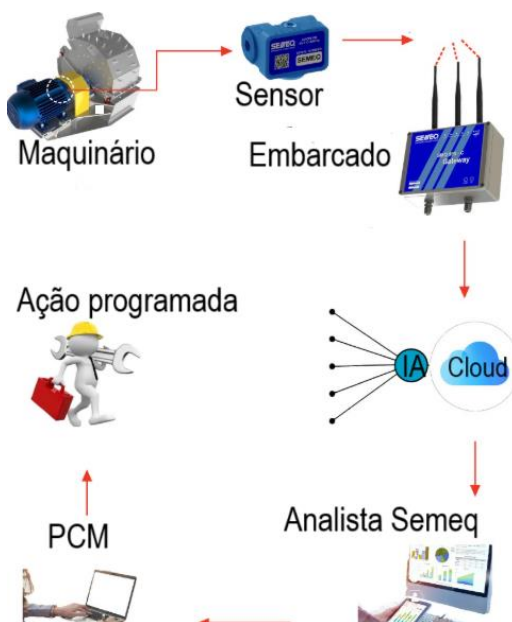
4 METODOLOGIA

4.1 Coleta e Tratamento dos Dados

A coleta é realizada através de sensoriamento (sensor vibração) que comunica com embarcado que fica instalado fixo na máquina em linha de produção, através do protocolo (MQTT) acontece a coleta e tratamento de dados, dessa forma a empresa

parceira (fornecedora do serviço de monitoramento de máquinas elétricas em tempo real através de IoT) quando ocorre análise fora do esperado, indicativos são gerando alertas que são classificados como: verde (Normal esperado), amarelo (Alerta advertência verificar localmente) e vermelho (ocorrência planejar intervenção). Na figura 3 é possível observar o ciclo da coleta e tratamento dos dados, dessa forma o cliente, setor de PCM (planejamento e controle de manutenção) é notificado sendo orientado a tomada de decisão programando com antecedência a parada de máquina (SEMEQ, 2025).

Figura 3 – Ciclo de coleta e tratamento de dados



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

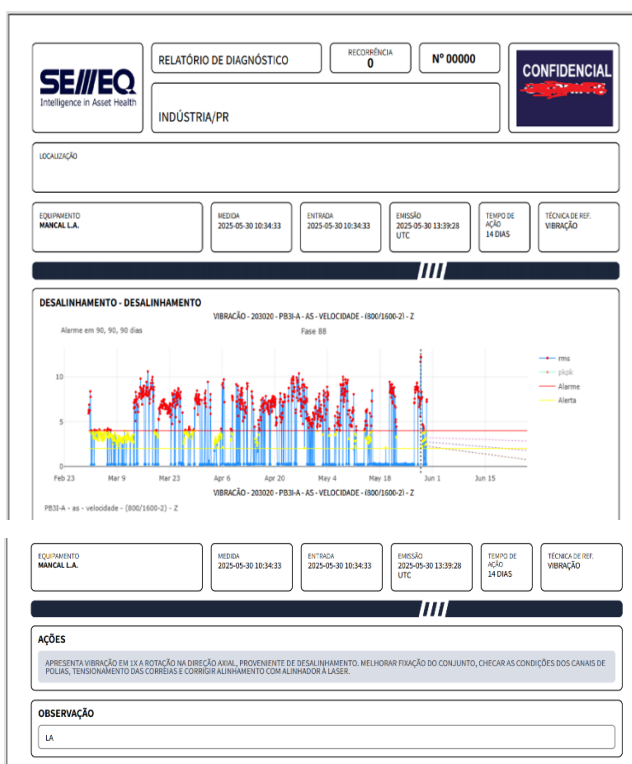
A central de análise de dados integra o conhecimento técnico de especialistas em manutenção preditiva com a expertise de cientistas de dados. Por meio de um modelo classificatório, a inteligência artificial analisa continuamente os dados e alarmes coletados, identificando instantaneamente falhas específicas, classificando-as de acordo com o grau de severidade e estágio de evolução, e gerando relatórios automaticamente. Todo esse processo é supervisionado 24 horas por analistas altamente treinados, o que assegura a precisão e confiabilidade dos diagnósticos emitidos. O sistema de IA considera não apenas o histórico individual de cada equipamento e as normas técnicas internacionais, mas também realiza comparações com equipamentos similares utilizados em diferentes setores da indústria, a IA da

SEMEC integrada ao supervisório utiliza modelos baseados em machine learning, alimentados por milhares de horas de dados históricos de falhas reais. Dessa forma, o aprendizado do algoritmo não depende da ocorrência de falhas em tempo real; ele é alimentado por um banco de dados extenso, construído ao longo do tempo, permitindo a detecção precoce de padrões anômalos, como sinais de vibração fora dos padrões esperados (SEMEQ, 2025).

4.2 Integração

A integração entre os equipamentos monitorados e o setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) proporciona uma visão mais ampla e precisa sobre a real condição dos ativos. Por meio de um sistema de relatórios (figura 4) em formato *one page report*, que atua como um repositório centralizado de informações, é possível acessar e comparar os resultados obtidos ao longo do tempo.

Figura 4 – Modelo de Relatório



Fonte: SEMEQ (2025)

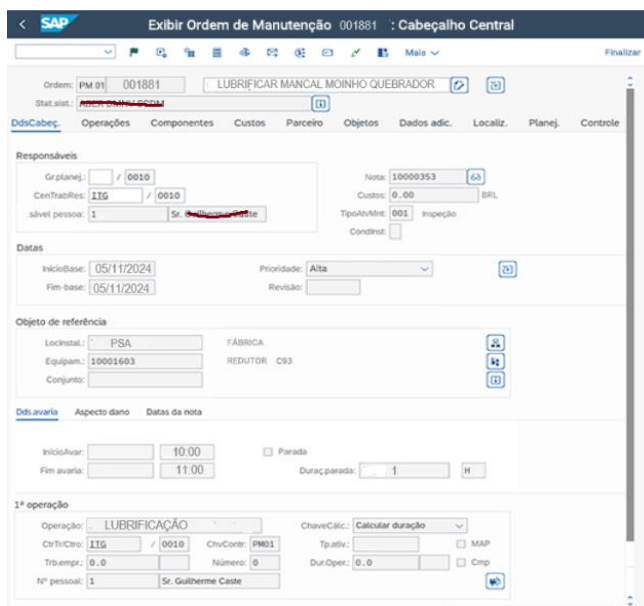
O relatório apresenta dados de monitoramento de vibração de um mancal, o gráfico o comportamento da vibração na faixa de frequência 800–1600 Hz, ao longo de um período de 14 dias. Nas linhas em azul é analisado o valor da vibração, os valores máximo e mínimo são observados pela linha verde. Ao avaliar a linha em

amarelo, recomenda-se atenção técnica e linha vermelha exige ação programada. A utilização de diferentes técnicas de monitoramento se complementa, permitindo diagnósticos mais assertivos e direcionando intervenções com maior precisão. Essa abordagem contribui para uma avaliação mais eficiente do estágio de falha, tornando clara a relação entre causa e consequência, o que fortalece a tomada de decisões estratégicas na manutenção.

4.3 Planejamento

O sistema também permite a geração automática de Ordens de Serviço (OS) diretamente no software de gestão de manutenção utilizado pelo cliente, como ERP, CMMS, SAP, entre outros. Isso facilita o planejamento das intervenções corretivas ou preditivas e possibilita um acompanhamento mais eficaz das rotinas de manutenção. Como destaca a SEMEQ (2025), essa automação contribui significativamente para a organização do processo, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a eficiência na execução das atividades de manutenção. Na figura 5 é apresentado o modelo da Ordem de serviço.

Figura 5 –Ordem de serviço



Fonte: SAP (2025)

O modelo tradicional de acompanhamento de máquinas, baseado no controle realizado pelo setor de Planejamento e Controle da Manutenção, limitava-se à análise de falhas mecânicas, elétricas e à verificação da limpeza dos equipamentos por meio das Ordens de Serviço manuais. Esse formato apresentava baixa previsibilidade

quanto à ocorrência de falhas, o que impactava negativamente na eficiência da manutenção. Com a evolução das práticas industriais e o fortalecimento da gestão de processos, tornou-se necessário aprimorar a forma de coleta, monitoramento e gerenciamento das informações, buscando maior assertividade nas intervenções e uma abordagem mais estratégica na manutenção dos ativos.

4.3 Monitoramento e análise de vibração

O monitoramento e análise de vibração exercem um papel essencial na manutenção preditiva de equipamentos industriais, uma vez que permitem a identificação precoce de falhas mecânicas capazes de comprometer a confiabilidade e disponibilidade dos ativos. A partir da análise dos sinais vibracionais captados por sensores instalados nos equipamentos, é possível detectar variações sutis nos padrões operacionais, possibilitando a identificação de problemas como desbalanceamentos, desalinhamentos, folgas mecânicas, desgastes em rolamentos e até falhas estruturais.

Com a introdução de tecnologias baseadas em Internet das Coisas (IoT), a análise de vibração passou a ser realizada de maneira contínua e em tempo real. Os sensores inteligentes, posicionados em pontos estratégicos das máquinas, captam os sinais nos três eixos principais: X (horizontal), Y (vertical) e Z (axial). O eixo X está frequentemente associado a desbalanceamentos e folgas radiais; o eixo Y permite a identificação de desalinhamentos e ressonância estrutural; já o eixo Z é mais sensível a variações axiais, muitas vezes indicativas de falhas em rolamentos ou cargas axiais desequilibradas.

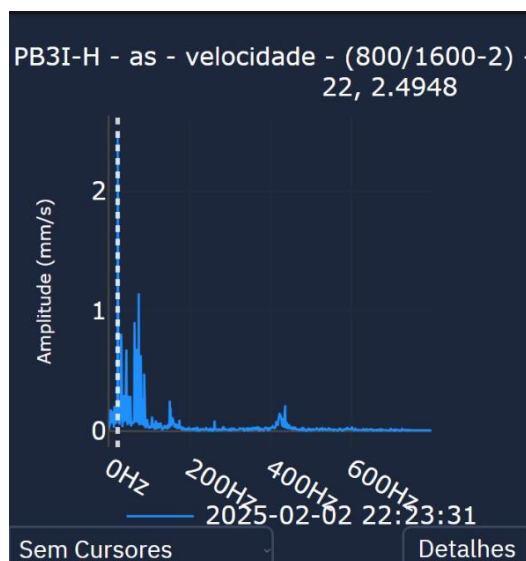
Para aprofundar a interpretação dos sinais de vibração, utiliza-se a Transformada Rápida de Fourier (FFT), que converte os dados do domínio do tempo para o domínio da frequência. Essa técnica permite decompor o sinal captado em suas componentes harmônicas, revelando com precisão as frequências predominantes. Com isso, é possível correlacionar picos espectrais com falhas específicas, com base em catálogos técnicos e frequências naturais dos componentes. Por exemplo, um pico na frequência de $1 \times \text{RPM}$ geralmente indica desbalanceamento do rotor, enquanto picos múltiplos de $2 \times$ ou $3 \times \text{RPM}$ podem sugerir desalinhamento angular ou paralelo. Picos nas frequências de falhas características de rolamentos, como BPFO (falha no anel externo), BPFI (falha no anel interno), BSF (falha nas esferas) ou FTF (falha na

gaiola), fornecem diagnósticos precisos sobre o estágio de degradação desses componentes.

Além disso, a análise espectral viabiliza o acompanhamento da progressão das falhas ao longo do tempo, uma vez que, com a evolução do defeito, é comum o surgimento de harmônicos, efeitos laterais e elevação da amplitude nas frequências características. Essas informações orientam a tomada de decisões estratégicas quanto ao momento ideal para intervenção, promovendo a redução de custos operacionais e evitando paradas não programadas.

A seguir, apresentam-se os espectros de vibração obtidos pelo sensor PB3I, aplicados aos três eixos de análise. Tais gráficos evidenciam o comportamento dinâmico do equipamento em análise, antes da realização de uma manutenção preventiva. Nota-se que na Figura 6 espectros de vibração no eixo X (PB3I-H) com análise FFT em velocidade (mm/s). Destaque para harmônicos em baixa frequência indicando possível desbalanceamento.

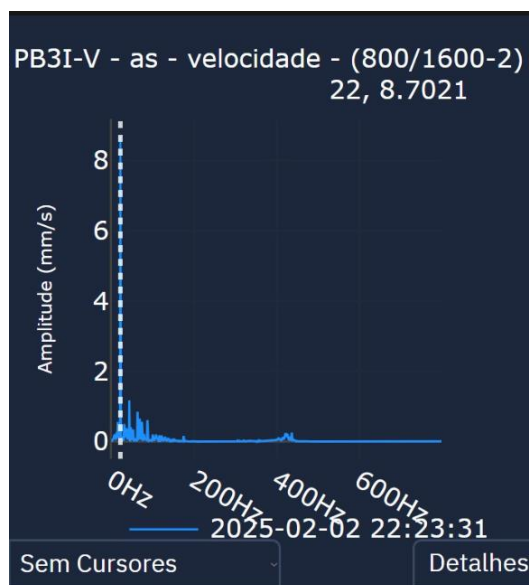
Figura 6 – Espectro de vibração no eixo X



Fonte: SEMEQ (2025)

Na Figura 7 – Espectro de vibração no eixo Y (PB3I-V) com análise FFT em velocidade (mm/s). Pico em baixa frequência compatível com desalinhamento ou ressonância.

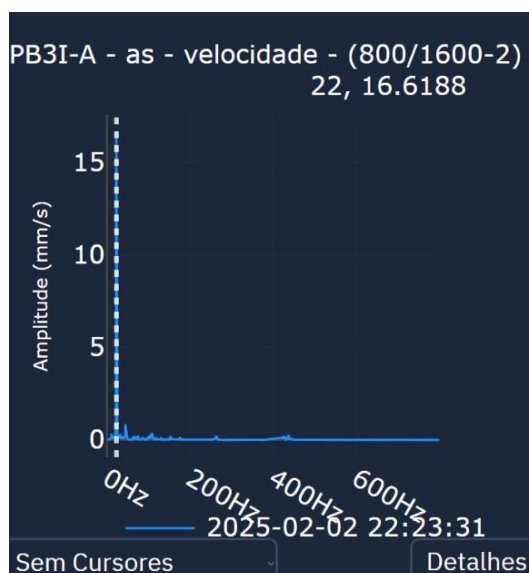
Figura 7 – Espectro de vibração no eixo Y



Fonte: SEMEQ (2025)

E finalmente na Figura 8 – Espectro de vibração no eixo Z (PB3I-A) com análise FFT em velocidade (mm/s). Amplitude elevada sugere força axial anormal, comum em falhas de rolamentos.

Figura 8 – Espectro de vibração no eixo Z



Fonte: SEMEQ (2025)

A análise conjunta das Figuras 6, 7 e 8 confirma a efetividade da aplicação da FFT na identificação e monitoramento de anomalias mecânicas. A presença de picos

em frequências características, como as associadas a desbalanceamento, desalinhamento e falhas de rolamentos, permite detectar precocemente tendências de falha. Essa abordagem fortalece a confiabilidade do diagnóstico e justifica a adoção de ações corretivas com base em critérios técnicos.

5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O presente estudo de caso teve como objetivo fazer um comparativo das condições operacionais de equipamentos elétricos tendo uma de suas etapas as ordens de serviço (OS) emitidas antes e depois da implantação de um sistema de monitoramento em tempo real de máquinas elétricas baseado em tecnologia IoT, que apoiam na coleta de dados em tempo real. A partir dessa análise comparativa, buscou-se identificar os impactos gerados pela adoção desse novo modelo tecnológico, com foco em indicadores de desempenho relacionados à gestão da manutenção, segurança operacional e estabilidade dos equipamentos.

A integração entre os sensores instalados nos ativos monitorados e o setor de Planejamento e Controle da Manutenção proporcionou uma visão mais abrangente e precisa sobre as reais condições operacionais das máquinas. Essa conectividade permitiu o acompanhamento contínuo dos dados de desempenho, possibilitando a emissão de relatórios sintéticos no formato one page report, que atuam como um repositório centralizado e acessível para análise histórica e tomada de decisão. Além disso, com as técnicas de monitoramento e análise de vibração, permitiu-se diagnósticos mais assertivos, antecipando falhas e direcionando as ações de manutenção de forma mais precisa. Essa abordagem multitécnica tornou a avaliação do estágio de falha mais eficaz, evidenciando a correlação entre causas e consequências, o que fortaleceu a capacidade de decisão estratégica da equipe de manutenção.

Outro diferencial relevante foi a automação do processo de geração de Ordens de Serviço, que passou a ser realizada diretamente no sistema de gestão de manutenção utilizado pelo cliente, como SAP (Sistemas, Aplicações e Produtos em Processamento de Dados). Isso proporcionou maior agilidade no planejamento das intervenções corretivas e preditivas, além de permitir um controle mais eficiente das

rotinas de manutenção. Conforme destacado por SEMEQ (2025), a automação contribui significativamente para a organização dos processos, reduzindo o tempo de resposta e aumentando a eficiência operacional.

5.1 Discussão dos Resultados Obtidos

O presente estudo de caso teve como objetivo comparar o desempenho operacional de equipamentos elétricos críticos antes e após a implementação de um sistema de monitoramento em tempo real baseado em tecnologia IoT. Inicialmente, as decisões da equipe de manutenção eram baseadas em Ordens de Serviço (OS) manuais e inspeções visuais esporádicas, o que limitava a capacidade de prever falhas e planejar intervenções adequadamente. Com a introdução do monitoramento IoT, foi possível integrar sensores aos ativos e conectar esses dados ao setor de Planejamento e Controle da Manutenção, resultando em diagnósticos mais precisos e intervenções mais eficazes.

A Tabela 1 apresenta as falhas registradas em 2024 no equipamento *Moinho Quebrador*, separadas em dois períodos: Pré-IoT (janeiro a junho – cor azul) e Pós-IoT (julho a dezembro – cor verde). Observa-se que, no período pré-IoT, as falhas ocorriam com maior frequência e envolviam exclusivamente manutenções corretivas, sem planejamento prévio, o que resultava em maior tempo de inatividade e desgaste operacional.

Tabela 1 – Registros de falhas no equipamento Moinho Quebrador em 2024

Data	EQUIPAMENTO	TIPO DE MANUTENÇÃO	SERVIÇO EXECUTADO
2024-01-09	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-01-11	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-02-18	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-03-18	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-03-20	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA

2024-05-07	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	INSPEÇÃO
2024-05-07	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-05-08	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	REDUC. TAM. POLIA
2024-05-29	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	MANCAL AQUECENDO
2024-08-01	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	INSPEÇÃO
2024-08-07	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	TROCA CORREIAS
2024-08-15	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	REVISÃO
2024-08-27	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-09-19	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	BALANCIAMENTO
2024-09-23	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	EXAME CONJ. ROTATIVO
2024-10-02	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	INSPEÇÃO
2024-10-06	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-10-06	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	INSPEÇÃO
2024-11-01	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	REVISÃO
2024-11-18	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	INST. MOTOR RESERVA
2024-11-20	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	FALHA NÃO LIGA
2024-11-28	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	TROCA ROLAMENTOS
2024-12-11	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	TROCA DA TELA
2024-12-12	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	REVISÃO PROGRA.

2024-12-13	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	USINAGEM EIXO
2024-12-16	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO NÃO PLANEJADA	INSPEÇÃO
2024-12-18	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	SERV. SERRALHERIA
2024-12-23	MOINHO QUEBRADOR	AÇÃO PLANEJADA	SERV. SERRALHERIA

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Já no segundo semestre, após a implantação dos sensores, a natureza das intervenções mudou: passaram a ser majoritariamente planejadas e baseadas em dados preditivos, com diagnóstico prévio fornecido pelo sistema.

Tabela 2 – Indicadores por Período

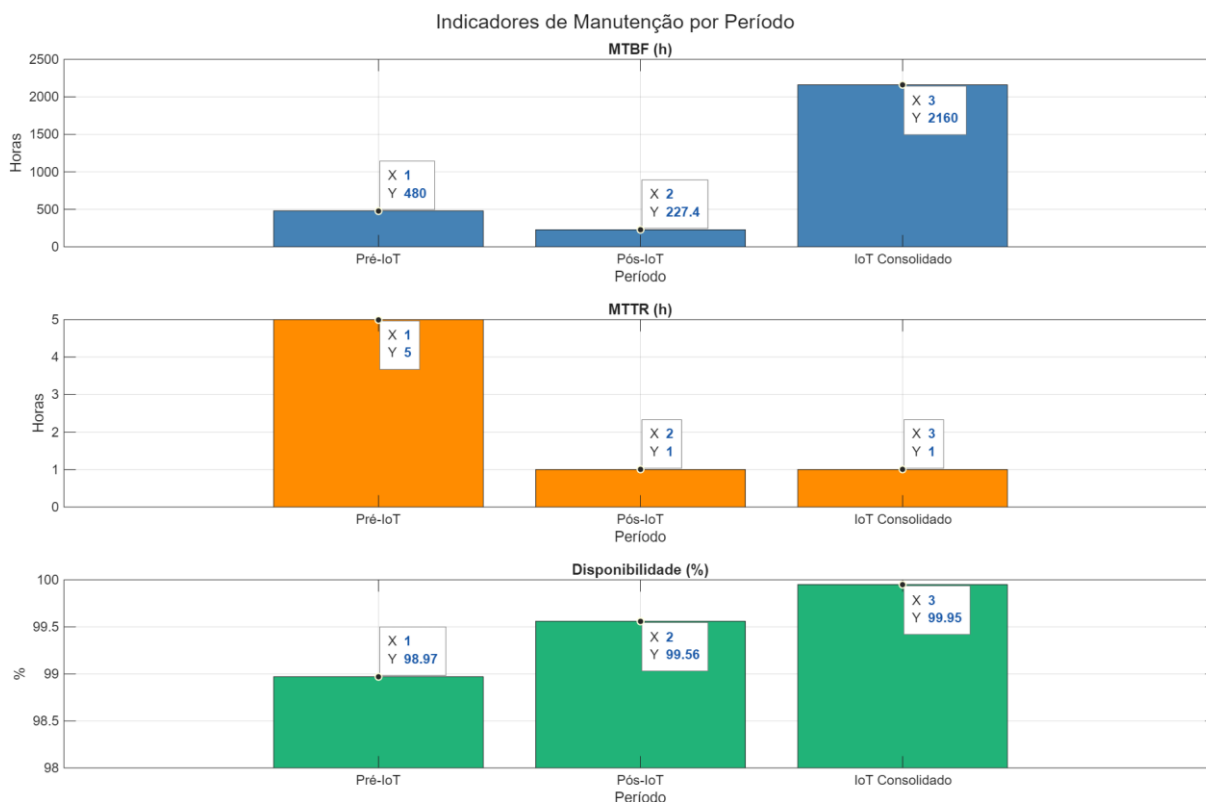
Período	Intervalo de Datas	Tempo Total de Operação (h)	Total de Falhas	MTTR (h)	MTBF (h)	Disponibilidade (%)
Pré-IoT	jan/2024 – jun/2024	4320	9	5.0	480.0	98.97
Pós-IoT	jul/2024 – dez/2024	4320	19	1.0	227.4	99.56
IoT Consolidado	jan/2025 – jun/2025	4320	1	2.0	4320.0	99.95

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A Tabela 2 demonstra como ao aplicar as equações 1 e 2 é possível reduzir consideravelmente o tempo de reparo, que caiu de uma média estimada de 5 horas (pré-IoT) para 1 hora (pós-IoT), conforme cálculo do indicador MTTR (Tempo Médio para Reparo). Ao mesmo tempo, o MTBF (Tempo Médio entre Falhas) reduziu de 480 horas para 227,4 horas, uma redução esperada em função da maior sensibilidade do sistema aos primeiros sinais de anomalias. Mesmo assim, a disponibilidade operacional aumentou de 98,97% para 99,56%, o que demonstra

que, embora intervenções ocorram com maior frequência, são mais rápidas, precisas e eficazes.

Figura 9 – Indicadores de Manutenção por Período.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O gráfico apresentado na Figura 9 ilustra essa evolução, comparando os indicadores de manutenção nos três períodos analisados: Pré-IoT, Pós-IoT e IoT Consolidado (janeiro a junho de 2025). Nesse último estágio, foram registradas apenas duas falhas, mantendo o MTTR em 1 hora e elevando o MTBF para 2160 horas, com uma disponibilidade operacional de 99,95%.

A Tabela 3 apresenta os resultados consolidados do indicador OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) para os três períodos analisados: Pré-IoT, Pós-IoT e IoT Consolidado. O OEE é composto por três variáveis: disponibilidade, performance e qualidade, que, combinadas, fornecem uma visão abrangente da eficiência operacional do equipamento.

Os dados de disponibilidade foram obtidos diretamente a partir do tempo total de operação e dos registros de falhas para cada período, conforme discutido

anteriormente. Já os valores de performance e qualidade foram estimados com base em parâmetros médios industriais e simulações aplicadas ao contexto de uso do equipamento monitorado. Considerou-se uma performance constante de 90% e uma taxa de qualidade de 98% para todos os períodos, com base no histórico de produtividade e na taxa de rejeição observada em equipamentos de perfil semelhante.

Mesmo mantendo constantes esses dois parâmetros, observa-se uma evolução gradual do OEE: de 87,2% no Pré-IoT para 87,8% no Pós-IoT, atingindo 88,2% no período IoT Consolidado. Esse avanço é reflexo direto do aumento progressivo da disponibilidade operacional, impulsionado pela implantação do monitoramento preditivo via IoT. Ainda que a variação percentual pareça pequena, seu impacto em equipamentos críticos é significativo, resultando em maior produtividade, menor incidência de falhas inesperadas e redução de custos com paradas não planejadas.

Tabela 3 – Tabela OEE por Período.

Período	Disponibilidade	Performance	Qualidade	OEE(%)
Pré-IoT	98,97%	90%	98%	87,2%
Pós-IoT	99,56%	90%	98%	87,8%
IoT Consolidado	99,95%	90%	98%	88,2%

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Esse resultado demonstra a maturidade e estabilidade do sistema, reforçando a confiabilidade da tecnologia IoT na gestão da manutenção. Além disso, a integração com o sistema SAP permitiu a geração automatizada de OS, reduzindo o tempo entre a detecção de uma anomalia e a intervenção. Relatórios sintéticos em formato (*one page*) facilitaram a tomada de decisão, centralizando informações e acelerando a resposta operacional. Às ferramentas de análise de vibração complementaram o diagnóstico, permitindo detectar falhas em estágio inicial, como desalinhamentos ou desgaste de rolamentos.

Esse tipo de abordagem preditiva também é exemplificado na Figura 10, que mostra um rolamento com deficiência de lubrificação, condição que, se não for corrigida a tempo, pode evoluir para falhas severas. Ao atuar antecipadamente sobre esses sinais, é possível evitar quebras catastróficas, aumentar a vida útil do componente e reduzir custos de manutenção.

Figura 10 – Rolamento com deficiência de lubrificação



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

As OS manuais e inspeções pontuais, mostrou-se limitado frente às exigências atuais da indústria 4.0. Ao analisar o gráfico de falhas, figura 11 monitora-se em tempo real a vibração no período de 7 dias, na parte superior é possível observar os picos que ultrapassam o nível de alarme e na parte inferior, a frequência associada a falhas.

Figura 11 – Análise de falha com antecedência



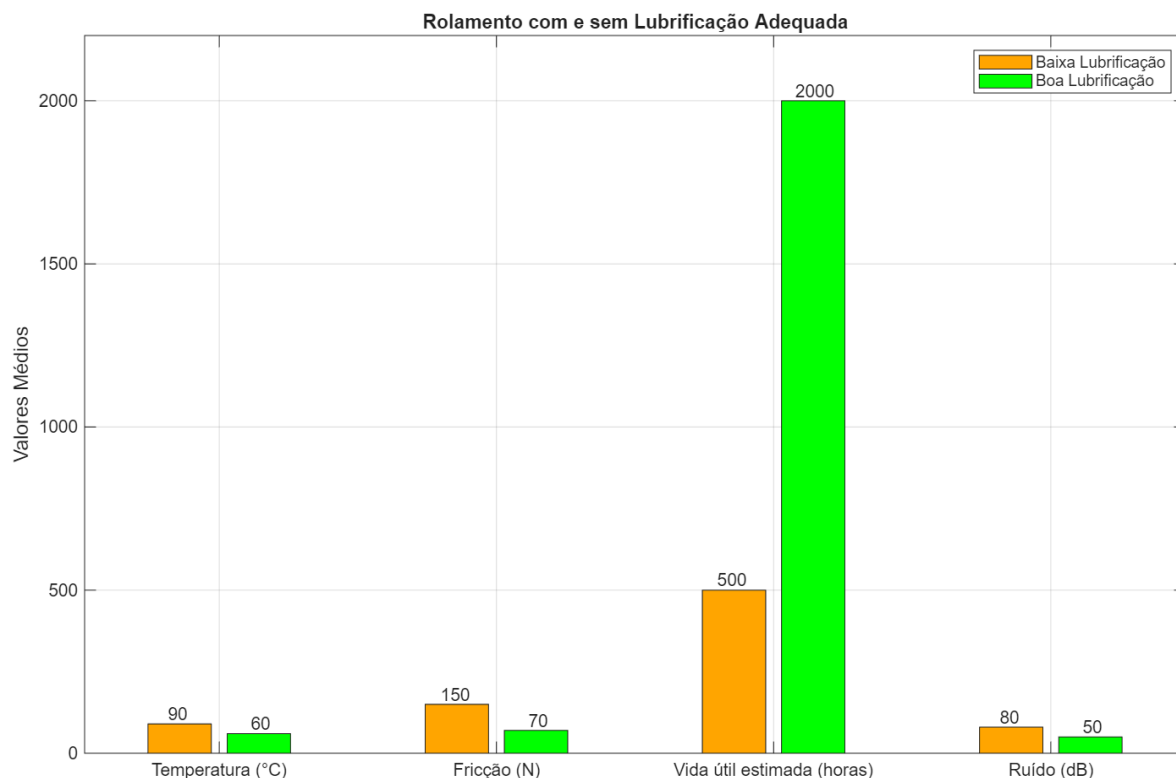
Fonte: SEMEQ (2025)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas ISO 55000 (2014), enfatiza a importância de estratégias de manutenção que reduzam riscos de falhas não planejadas e aumentem a previsibilidade operacional. Ao analisar as manutenções planejadas e não planejadas no período, nota-se a maior parte das intervenções foram planejadas, sinalizando uma gestão da manutenção estratégica com paradas estruturadas e planejadas.

A lubrificação inadequada compromete diretamente a vida útil do equipamento e pode causar paradas inesperadas, aumento de custos e risco à segurança. Assim, adotar práticas de manutenção preventiva e preditiva é fundamental para manter a confiabilidade do equipamento e garantir a continuidade da produção. Por fim com o auxílio de ferramentas de inspeção e monitoramento como a análise realizada através de sensoriamento IoT, a manutenção se transforma em um processo estratégico dentro da gestão de ativos. Essas ferramentas permitem que o profissional de manutenção identifique problemas com antecedência, planeje intervenções de forma mais eficaz. Dessa forma, o profissional não apenas corrige falhas, mas também atua proativamente, sendo um aliado indispensável na preservação integridade e desempenho dos equipamentos.

Na comparação na figura 12, o gráfico analisa o desempenho de um rolamento com baixa lubrificação e outro com lubrificação adequada, com indicadores de temperatura, fricção, vida útil estimada e ruído. Nota-se que o rolamento com baixa lubrificação apresenta temperatura e fricção significativamente maiores, o que acelera o desgaste dos componentes e compromete a eficiência do equipamento. Além disso, sua vida útil estimada é reduzida, caindo de 2000 para 500 horas, enquanto o nível de ruído também é mais alto, indicando maior atrito e possibilidade de falha iminente.

Figura 12 – Rolamento com e sem Lubrificação Adequada



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Esses dados reforçam a importância da lubrificação adequada como uma medida essencial para preservar o funcionamento dos rolamentos e evitar paradas não planejadas do ativo. Os quatro indicadores analisados apontam para ganhos operacionais, redução de falhas e custos menores com paradas não planejadas. Uma boa lubrificação reduz significativamente a temperatura de operação, evitando o desgaste térmico e falhas prematuras.

6 CONCLUSÃO

A implementação do sistema de monitoramento por tecnologia IoT no equipamento Moinho Quebrador representou uma mudança significativa na gestão da manutenção industrial, promovendo avanços expressivos na confiabilidade e disponibilidade operacional. A análise comparativa entre os períodos pré e pós-IoT evidenciou que, antes da digitalização, a manutenção era predominantemente corretiva e reativa, o que implicava em maiores tempos de inatividade, falhas recorrentes e diagnósticos incertos.

Com a adoção do monitoramento em tempo real, tornou-se possível antecipar falhas por meio de dados vibracionais e históricos, permitindo ações planejadas, rápidas e direcionadas. Os indicadores MTTR e MTBF mostraram melhorias importantes: o tempo médio de reparo foi reduzido de 5 para 1 hora, enquanto a disponibilidade operacional aumentou de 98,97% para 99,95%. Isso demonstra que, embora o número de intervenções possa aumentar inicialmente, o tempo e o custo associados a elas foram significativamente reduzidos.

A utilização de ferramentas como a Transformada Rápida de Fourier (FFT) potencializou o diagnóstico de falhas mecânicas, como desgastes em rolamentos ou problemas de lubrificação, reforçando a assertividade das ações de manutenção. Além disso, a integração com o sistema SAP, somada à geração automatizada de ordens de serviço e relatórios de fácil leitura, contribuiu para a agilidade na tomada de decisão e no planejamento das intervenções.

A abordagem preditiva adotada neste estudo está alinhada às diretrizes da ISO 55000 e aos princípios da Indústria 4.0, reforçando o papel da tecnologia como aliada estratégica da manutenção industrial. Como resultado, o monitoramento IoT consolidou-se não apenas como uma solução técnica, mas como uma ferramenta de transformação cultural, capaz de elevar os padrões de desempenho, segurança e eficiência operacional.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

Como continuidade deste trabalho, pretende-se acompanhar e analisar o comportamento dos indicadores de manutenção durante o segundo semestre de 2025, a fim de validar a consistência e a eficácia do sistema IoT implantado. Embora os resultados iniciais tenham demonstrado alta disponibilidade e baixos tempos de reparo, é esperado que, com o aumento do período observado, eventos naturais de desgaste e falhas esporádicas possam ocorrer, impactando o percentual de disponibilidade. No entanto, a análise contínua desses dados permitirá verificar se o sistema mantém sua eficiência na detecção precoce de falhas e na redução do tempo de inatividade, reforçando sua confiabilidade como ferramenta estratégica de

manutenção preditiva. A intenção é consolidar uma base estatística mais robusta que sustente a evolução do processo e identifique oportunidades adicionais de otimização.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 55000:2014: Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

BERTOLETI, Pedro. O que são plataformas IOT e quais são as maiores do mercado, 2025. Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/iot/17606-o-que-sao-as-plataformas-iot-e-quais-sao-as-maiores-do-mercado-mic435.html?highlight=WyJpb3QiXQ==> Acesso em: 20 maio 2025.

BUENO, Edson Roberto Ferreira. Gestão da manutenção de máquinas. 1. ed. São Paulo: Contentus, 2020. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 29 mar. 2025.

DURAES, Wellington; FERREIRA, Fernando Henrique Inocêncio Borba; MANZAN, Renato. Arquitetura de soluções lot: desenvolva com Internet das coisas para o mundo real. São Paulo, SP: Casa do Código, 2022. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 20 mar. 2025.

FABRO, Elton. Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GONÇALVES, Jardim. Internet of Things for enterprise systems of modern manufacturing, 2016. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/> Acesso: 25 maio 2025

MOLINA, André Luiz. *Indicadores de manutenção*. 3. ed. São Paulo: Artliber, 2010.

SEMEQ, In: Análise de vibração e coleta de dados Disponível em: <https://semeq.com/pt/solucoes/> Acesso em: 4 abr. 2025.

SINCLAIR, Bruce. IoT: como usar a internet das coisas para alavancar seus negócios. 1. ed. Jaraguá do Sul: Autêntica Business, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 29 mar. 2025.

TRACTIAN, In: Indicadores de manutenção. 2025. Disponível em: <https://traction.com/blog/indicadores-de-manutencao>. Acesso em: 02 jun. 2025.

TELLES, André; KOLBE JÚNIOR, Armando. Smart IoT: a revolução da internet das coisas para negócios inovadores. 1. ed. Curitiba: Intersaberes, 2022. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 01 abr. 2025.

Sensores Industriais: fundamentos e aplicações/ Daniel Thomazini, Pedro Urbano Braga de Albuquerque 4.ed. rev. São Paulo: Érica, 200.

THOMAZINI, Daniel. Pedro Urbano Braga de Albuquerque. Sensores Industriais: fundamentos e aplicações/ 4.ed. rev. São Paulo: Érica, 2007.