

MANUTENÇÃO PRESCRITIVA: A EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA 4.0

PRESCRIPTIVE MAINTENANCE: THE EVOLUTION OF MAINTENANCE IN INDUSTRY

4.0

Cristofer Oliveira Machado¹
Sérgio Condak Monteiro Junior²
Yuri Vinicius e Silva Celestino³
José Antônio Bento de Andrade⁴
Adauri Silveira Rodrigues Junior⁵

RESUMO: Este trabalho destaca o uso das novas tecnologias na manutenção, especialmente dentro do contexto da Indústria 4.0. Com a pressão crescente para melhorar o desempenho das linhas de produção e atender às demandas do mercado, além da busca por lucros máximos, a necessidade de técnicas de manutenção mais avançadas e específicas tornou-se crucial para evitar paradas não planejadas. A Indústria 4.0 trouxe recursos como Internet das Coisas (IOT), Big Data, Armazenamento em Nuvem, Aprendizado de Máquina (Machine Learning) e Inteligência Artificial (IA), que revolucionaram o conceito de manutenção. Isso levou ao desenvolvimento da manutenção prescritiva (RxM), que, combinada com outras técnicas de manutenção existentes, possibilitou a criação de métodos proativos para manter os ativos operando com eficiência máxima. Este estudo visa analisar as práticas atuais relacionadas à manutenção prescritiva, comparando-as com outros tipos de manutenção. Destaca-se que a manutenção prescritiva oferece ganhos significativos na elaboração de planos de ação e diagnósticos de possíveis falhas que poderiam afetar os processos de produção. Ela se baseia na análise avançada dos dados gerados pelos equipamentos, que podem ser obtidos por meio de sensores, monitoramento físico e planos de manutenção. Ao reunir dados confiáveis, é possível transformar essas informações em confiabilidade e disponibilidade reais dos ativos, auxiliando na tomada de decisões informadas na gestão da manutenção.

4444

Palavras-chave: Manutenção Prescritiva. Indústria 4.0. Inteligência Artificial. Machine Learning.

ABSTRACT: This work highlights the use of new technologies in maintenance, especially within the context of Industry 4.0. With increasing pressure to improve the performance of production lines and meet market demands, in addition to the search for maximum profits, the need for more advanced and specific maintenance techniques has become crucial to avoid unplanned downtime. Industry 4.0 brought resources such as the Internet of Things (IoT), Big Data, Cloud Storage, Machine Learning and Artificial Intelligence (AI), which revolutionized the concept of maintenance. This led to the development of prescriptive maintenance (RxM), which, combined with other existing maintenance techniques, enabled the creation of proactive methods to keep assets operating at peak efficiency. This study aims to analyze current practices related to prescriptive maintenance, comparing them with other types of maintenance. It is noteworthy that prescriptive maintenance offers significant gains in the development of action plans and diagnoses of possible failures that could affect production processes. It is based on advanced analysis of data generated by equipment, which can be obtained through sensors, physical monitoring and maintenance plans. By gathering reliable data, it is possible to transform this information into real reliability and availability of assets, helping to make informed decisions in maintenance management.

Keywords: Prescriptive Maintenance. Industry 4.0. Artificial Intelligence. Machine Learning.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica - Universidade de Vassouras

² Graduando em Engenharia Elétrica - Universidade de Vassouras.

³ Graduando em Engenharia Elétrica - Universidade de Vassouras.

⁴ Especialista - Universidade de Vassouras.

⁵ Mestrado - Universidade de Vassouras.

1. INTRODUÇÃO

A ênfase na eficiência industrial é crucial na atualidade, devido à competição acirrada e à busca incessante por redução de custos e aumento da velocidade de produção. A manutenção industrial desempenha um papel fundamental na melhoria contínua dos processos produtivos e na identificação de falhas que prejudicam o desempenho dos equipamentos (IndustryWeek e Emerson, 2017). Cerca de 42% do tempo de inatividade não planejado e custos anuais de US\$ 50 bilhões estão relacionados às falhas em equipamentos (IndustryWeek e Emerson, 2017), destacando a necessidade de uma abordagem estratégica de manutenção.

A integração eficiente da manutenção nos processos produtivos é fundamental para alcançar metas de produtividade (Araújo, 2022). A Indústria 4.0, que combina tecnologias digitais à produção industrial (Davies, 2015), oferece oportunidades para aprimorar a manutenção. Tecnologias como IOT, IA e aprendizado de máquina permitem abordagens mais inteligentes, como a manutenção prescritiva (RxM), que previne paradas não planejadas.

Este artigo revisa a evolução da manutenção, explora a manutenção prescritiva na era da Indústria 4.0 e discute vantagens, desvantagens e passos para sua implementação. O objetivo é destacar a importância da manutenção prescritiva como ferramenta para otimizar a gestão de ativos e melhorar a eficácia da produção.

4445

Este trabalho tem como objetivo apresentar a manutenção prescritiva, realizando um comparativo com os demais tipos de manutenção, assim como apresentar as tecnologias habilitadoras, que tornaram possíveis um novo e inovador conceito de manutenção, tendo como base as aplicações práticas da Indústria 4.0.

2. HISTÓRIA DA MANUTENÇÃO

Segundo Kardec e Nascif (2009) a manutenção pode ser dividida em 4 gerações assim como as revoluções industriais, conforme ilustra a figura 1 abaixo.

Figura 1 – Revoluções industriais



Fonte: Blog Citisystems

2.1 PRIMEIRA GERAÇÃO

A primeira geração, referente ao período que precedeu a Segunda Guerra Mundial, caracterizou-se pela baixa mecanização e simplicidade dos equipamentos industriais. Devido às condições econômicas da época, a produtividade não era uma prioridade. Portanto, não havia a necessidade de adotar um sistema de manutenção sistêmica. As intervenções limitavam-se a ações básicas, como limpeza e lubrificação, e os reparos eram realizados somente quando os equipamentos quebravam. Essa abordagem pode ser descrita como "manutenção corretiva sem planejamento" Kardec e Nascif(2009).

2.2 SEGUNDA GERAÇÃO

Entre as décadas de 50 e 70, após a Segunda Guerra Mundial, as pressões resultantes do conflito aumentaram a demanda por produtos industriais, enquanto a disponibilidade de mão de obra industrial diminuía. Isso levou a um aumento significativo na mecanização e complexidade das linhas de produção. A necessidade de máquinas confiáveis impulsionou o desenvolvimento da manutenção preventiva, que envolvia intervenções programadas em intervalos regulares, embora isso aumentasse os custos de manutenção. Como resultado, surgiram sistemas de planejamento e controle de manutenção, que se tornaram componentes essenciais da manutenção moderna. Além disso, as indústrias começaram a buscar maneiras de prolongar a vida útil de seus ativos devido ao aumento dos custos de capital Kardec e Nascif (2009). 4446

2.3 TERCEIRA GERAÇÃO

A terceira geração da evolução da manutenção, que teve início na década de 70, refletiu as mudanças na indústria, com paralisações passando a afetar significativamente os custos e a qualidade dos produtos. Isso ocorreu especialmente devido à adoção global do sistema Just-in-Time, que reduziu os estoques e tornou pequenas paradas prejudiciais para a produção. Nessa fase, surgiram preocupações crescentes com a segurança e o meio ambiente, acompanhando o aumento dos padrões de exigência nessas áreas. Introduziu-se a manutenção preditiva, avanços na informática e um foco maior na confiabilidade. No entanto, ainda havia falta de comunicação eficaz entre engenharia, manutenção e operações, resultando em altas taxas de falhas prematuras, conhecidas como "mortalidade infantil" Kardec e Nascif (2009).

2.4 QUARTA GERAÇÃO

A quarta geração, que teve seu início nos anos 90, manteve algumas influências da

terceira geração. A confiabilidade tornou-se o principal objetivo da manutenção, com a disponibilidade sendo o indicador-chave de desempenho. A consolidação da engenharia da manutenção na gestão e no planejamento tornou-se essencial, garantindo disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade. A manutenção enfrentou o desafio de minimizar falhas prematuras, também conhecidas como "falha de mortalidade infantil", conforme identificado em estudos da United Airlines, conforme relatado por Moura em seu livro sobre RCM. Nesse contexto, a análise de falhas tornou-se uma metodologia amplamente reconhecida para melhorar o desempenho dos equipamentos. Houve uma redução nas práticas de manutenção preventiva programada, com um aumento na adoção de métodos preditivos e monitoramento de equipamentos, acompanhado pela diminuição do tempo de paradas para manutenção corretiva não planejada, que passou a ser considerado um indicador de ineficiência na manutenção Kardec e Nascif (2002).

Nesse contexto, é notável a significativa transformação e evolução na concepção da manutenção. Anteriormente, a manutenção era vista principalmente como uma medida reativa, acionada somente quando um equipamento apresentava defeitos, com o objetivo de restaurá-lo ao funcionamento normal. No entanto, essa perspectiva mudou consideravelmente para a adoção de ações preventivas que visam minimizar ao máximo qualquer ocorrência de falhas capazes de causar interrupções.

A transição das abordagens reativas para as preventivas, preditivas e atualmente a 4447 prescritiva, representa uma mudança fundamental tanto na mentalidade quanto nas práticas de manutenção. As estratégias não se concentram mais exclusivamente na correção de falhas, mas sim na prevenção, antecipação e monitoramento contínuo do desempenho dos equipamentos. Isso resulta em menor tempo de inatividade não planejado, maior produtividade e redução dos custos de manutenção.

3. TIPOS DE MANUTENÇÃO

Existem diferentes tipos de manutenção que podem ser aplicados em diversos contextos industriais. Cada tipo de manutenção possui objetivos, abordagens e estratégias específicas, ou até mesmo podem ser combinadas em planos para manutenção com o objetivo de se obter melhores resultados. Algumas das formas de atuação da manutenção mais comuns são:

Manutenção corretiva planejada e não planejada

Manutenção preventiva

Manutenção preditiva

Manutenção prescritiva

3.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A definição de manutenção corretiva, de acordo com Viana (2002) e Kardec e Nascif

(2009), envolve a correção de falhas decorrentes de desgaste ou deterioração de máquinas ou equipamentos. Isso inclui reparos, alinhamentos, balanceamentos, substituição de peças ou até mesmo a substituição do próprio equipamento quando necessário. A manutenção corretiva é realizada em resposta a defeitos ou desempenho deficiente em relação ao esperado. Essa forma de manutenção pode ser categorizada em dois tipos principais: planejada e não planejada.

3.1.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA

A manutenção corretiva planejada é realizada de forma programada e previamente agendada. Ela ocorre de acordo com um plano estabelecido, frequentemente durante períodos de parada programada da produção, a fim de evitar interrupções inesperadas. Algumas características da manutenção corretiva planejada incluem:

- Intervenção agendada com antecedência.
- Execução durante períodos de menor atividade ou paradas programadas.
- Uso de recursos, peças sobressalentes e mão de obra planejados com antecedência.
- Objetivo de evitar que uma falha ocorra ou se agrave.

3.1.2. MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA

4448

A manutenção corretiva não planejada ocorre como resposta a falhas imprevistas e não segue um cronograma preestabelecido. Ela é realizada de forma reativa, em emergências, quando um equipamento ou sistema deixa de funcionar corretamente. Algumas características da manutenção corretiva não planejada incluem:

- Intervenção imediata em resposta a uma falha inesperada.
- Pode resultar em tempo de parada não planejado e perda de produção.
- Recursos e peças sobressalentes podem não estar prontamente disponíveis.
- Objetivo principal é restaurar o funcionamento o mais rápido possível.

Ambos os tipos de manutenção corretiva desempenham papéis importantes na gestão de ativos industriais. A manutenção corretiva planejada visa minimizar o impacto das falhas ao programar intervenções durante períodos de menor atividade, enquanto a não planejada é realizada em situações de urgência para evitar interrupções significativas na produção. No entanto, é importante ressaltar que a manutenção corretiva pode ser custosa, uma vez que frequentemente envolve gastos inesperados e imprevistos. Portanto, sua aplicação deve ser equilibrada com outras estratégias de manutenção, como a manutenção preventiva e a preditiva,

que visam antecipar e prevenir falhas antes que ocorram, reduzindo assim a necessidade de intervenções corretivas.

3.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva, de acordo com Viana (2002) e Kardec e Nascif (2009), é uma abordagem que envolve procedimentos e ações destinados a evitar ou minimizar a necessidade de manutenção corretiva, introduzindo a qualidade no serviço de manutenção. Não há um padrão rígido para determinar quais equipamentos devem passar por inspeções regulares e com qual frequência, sendo a seleção inicial baseada na criticidade em relação à produção. A periodicidade das inspeções deve ser definida individualmente, considerando fatores como as condições operacionais e ambientais. A manutenção preventiva oferece uma visão antecipada das necessidades, facilitando o planejamento e a alocação de recursos, bem como o controle dos estoques. No entanto, Kardec e Nascif (2009) destacam desvantagens, como paradas periódicas de equipamentos e o risco de introdução de defeitos durante as intervenções.

3.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

Segundo Kardec e Nascif (2009), a manutenção preditiva envolve a monitorização 4449
contínua dos parâmetros de condição e desempenho dos equipamentos, permitindo a detecção antecipada de alterações que indiquem futuras falhas ou problemas operacionais. Basicamente, a manutenção preditiva indica o que pode acontecer em determinada situação, prevendo resultados futuros de possíveis falhas. Essa abordagem evita paradas não programadas e reduz os custos associados a manutenções corretivas de emergência. A principal vantagem é a capacidade de direcionar recursos de manutenção apenas para os equipamentos que realmente necessitam de atenção, o que otimiza o uso de mão de obra e peças de reposição, aumenta a vida útil dos equipamentos e reduz os custos operacionais. No entanto, a manutenção preditiva requer um investimento inicial significativo em sistemas de monitoramento e treinamento de pessoal, e nem todos os equipamentos são eficazmente monitoráveis por meio dessas técnicas, limitando sua aplicabilidade em alguns casos. O processo envolve a coleta constante de dados e sua interpretação por técnicos qualificados por meio de várias técnicas, como análise de vibração e termografia, dependendo das características do equipamento.

3.4 MANUTENÇÃO PRESCRITIVA

Atualmente, nas indústrias, a manutenção é uma grande combinação de todos os tipos de

manutenção citados, na qual cada equipamento, com suas peculiaridades, é desenvolvido uma estratégia específica para melhor atendê-lo. Isso só é possível graças a todos os avanços tecnológicos e desenvolvimento de novas ferramentas para auxiliar nesse processo, que a cada dia evolui mais, tornando viável a implementação da chamada manutenção prescritiva.

Para entender como funciona esse tipo de manutenção, primeiro, iremos definir o que é prescrever. Segundo o dicionário online, prescrever significa "Ordenar, estabelecer de modo claro, compreensível; determinar, regular". Também pode ser definido através do uso do termo aplicado à medicina, prescrever é "Passar a receita de um medicamento, tratamento; receitar: é função do médico prescrever os medicamentos corretos." Isso é o princípio da manutenção prescritiva: prescrever formas de combater e prevenir possíveis falhas, não apenas prever o que pode acontecer, como a manutenção preditiva indica.

A manutenção prescritiva é uma evolução da manutenção preditiva, segundo Dan Miklovik, publicado em seu artigo na LSN RESEARCH (2016), que afirma: "A análise preditiva está naturalmente evoluindo para a chamada análise prescritiva, a concepção é que a ferramenta de análise não apenas tenha a capacidade de antecipar eventos prováveis de ocorrer, mas também possa fornecer análises hipotéticas de diferentes opções, a fim de apresentar cenários que possam mudar o resultado". Basicamente, a manutenção prescritiva utiliza ferramentas usadas nas técnicas preditivas, como coleta de dados, banco e análise de dados, monitoramento contínuo, e integra algoritmos e modelos matemáticos de previsões de falhas com o aprendizado das máquinas para então sugerir possibilidades de atuações e intervenções para evitar falhas e paradas dos equipamentos.

4450

A implementação da manutenção prescritiva é uma estratégia inteligente e proativa para garantir a eficiência e a confiabilidade dos equipamentos e sistemas. A figura 4 ilustra os pilares e suas ferramentas.

Figura 4: Pilares e ferramentas da manutenção prescritiva

Fonte: Autores (2023)



3.4.1 SENSORIZAÇÃO

A fase inicial da implementação é a sensorização, que se refere ao processo de incorporar sensores específicos em equipamentos e sistemas capazes de detectar e medir determinadas grandezas físicas, para coletar dados e informações sobre o ambiente ou o próprio sistema em tempo real. Esses sensores podem ser utilizados para capturar informações como vibração, temperatura, pressão, umidade, movimento, luz, entre muitos outros parâmetros. Esses sensores servem como "olhos e ouvidos" dos ativos, coletando informações precisas sobre seu estado e desempenho.

Figura 5: Sensores e suas funções

Fonte: Autores (2023)

Tipos de sensores	Função dos sensores
Vibração	Enxerga as falhas mecânicas por meio de análise de vibração do equipamento, como desbalanceamento, rolamento ruim ou acoplamento.
Temperatura/Umidade	Faz a medição de temperatura e umidade do equipamento.
Ultrassônicos	Monitora vazamento de ar comprimido, vapor e vácuo, detectando falhas em rolamentos, válvulas e subestações elétricas e economiza energia.
Pressão	Captar os níveis de pressão em sua superfície.
Movimento	Fazer leitura das mudanças da luz infravermelha no ambiente monitorado.
Capacitivo	Detectar todo tipo de material.
Indutivo	Detectar somente material do tipo metal.

3.4.2 INTERNET DAS COISAS (INTERNET OF THINGS – IOT)

A IOT é responsável pela interconexão dos sensores à Internet e sua comunicação contínua com sistemas de computador. Ela permite que os dados coletados pelos sensores sejam transmitidos de forma eficiente para uma plataforma centralizada. A IOT viabiliza a coleta e o compartilhamento de dados em tempo real, tornando possível a monitorização remota e o acesso a informações críticas em qualquer lugar do mundo. É necessário configurar uma rede de dispositivos IOT que garanta a coleta contínua de dados em tempo real, considerando questões

de segurança, protocolos de comunicação e escalabilidade.

3.4.3 BIG DATA

O Big Data é um campo da análise de dados que lida com a interpretação e extração de insights valiosos a partir de conjuntos massivos de dados que têm três principais características: volume (muitos dados), velocidade (gerados rapidamente) e variedade (diferentes tipos de dados). É essencial para processar, armazenar e analisar os grandes volumes de informações gerados pela sensorização e pela IOT. Ele utiliza técnicas avançadas de processamento de dados, como análise estatística, para identificar padrões, tendências e relações nos dados. Sua função é transformar dados brutos em informações acionáveis.

3.4.4 CLOUD SERVER

Para dar continuidade no processo de implementação é necessário armazenar esses dados e a infraestrutura de cloud server, ou servidor na nuvem, é um tipo de servidor virtualizado hospedado na nuvem que permite esses dados serem consultados e visualizados. Ele oferece escalabilidade, flexibilidade, alta disponibilidade e gerenciamento simplificado, permitindo aos usuários escolher recursos de computação conforme necessário. Os cloud servers são usados para hospedar os bancos de dados gerados, e podem ser acessados globalmente pela internet. Isso proporciona uma abordagem econômica e eficaz para hospedar recursos de computação sem a necessidade de investir em hardware físico dedicado, permitindo que as organizações gerenciem eficazmente os grandes volumes de informações obtidos, que serão utilizados na próxima etapa.

4452

3.4.5 MACHINE LEARNING

Basicamente é aqui que a manutenção prescritiva de fato começa, até então os dados obtidos não foram interpretados e é aqui que esses dados se transformarão em informações úteis. O aprendizado das máquinas, ou Machine Learning em inglês, se concentra no desenvolvimento de algoritmos e modelos computacionais que permitem que sistemas de computador aprendam e melhorem a partir de dados, em vez de serem explicitamente programados, é empregada para criar modelos preditivos e analíticos com base nos dados históricos coletados. A função principal é permitir que os sistemas aprendam com os dados e identifiquem padrões complexos e é fundamental para a automação de tarefas complexas e a tomada de decisões baseadas em dados em uma variedade de setores e domínios para prever falhas, avaliar o estado de saúde dos ativos e recomendar ações de manutenção com base em análises avançadas.

3.4.6 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (IA)

A Inteligência Artificial (IA) complementa o Machine Learning e desempenha um papel importante na análise de dados avançada. A IA é um campo mais amplo que se concentra em criar sistemas e algoritmos que podem realizar tarefas que normalmente requerem inteligência humana. Isso inclui a capacidade de aprender, raciocinar, tomar decisões, reconhecimento de padrões, compreender linguagem natural e resolver problemas. Ela busca alcançar um nível geral de inteligência que pode ser aplicado a uma ampla gama de tarefas diferentes, muitas vezes abordando problemas complexos e não estruturados.

Na manutenção prescritiva, a Inteligência Artificial (IA) surge como a responsável pelas sugestões de ações e atividades com base nas informações obtidas nas etapas anteriores, ela desempenha funções autônomas, como detectar, diagnosticar, analisar e solicitar ações de correção, informando a possível causa, quando e onde atuar e como corrigir para a equipe de manutenção. A manutenção prescritiva surge como uma grande ferramenta na gestão de ativos dentro das indústrias, ela é considerada o futuro da manutenção pois oferece uma série de vantagens significativas, se destacando por sua capacidade de modelar múltiplos cenários, para prever e automatizar uma ampla gama de opções, proporcionando uma compreensão profunda da economia das ações propostas, ela permite simulações de alterações futuras antes de qualquer investimento em despesas de capital, facilitando a tomada de decisões estratégicas. Além disso, essa abordagem mais proativa também se destaca na resolução de problemas complexos, como a identificação de modos de falha múltiplos ou a detecção de deterioração gradual e quase imperceptível dos ativos ao longo do tempo, ao otimizar as operações e minimizar o tempo de inatividade, incluindo as paradas não planejadas, impulsiona a eficiência operacional (KOGUT, 2022).

4453

No entanto, a implementação da manutenção prescritiva também apresenta desafios a serem superados. Primeiramente, os custos iniciais são elevados, uma vez que envolvem a modernização do equipamento com sensores e a implementação dos recursos necessários de inteligência artificial e aprendizado de máquina, o que pode representar um investimento considerável para as organizações. Além disso, a eficácia do sistema pode não ser imediata, visto a necessidade da obtenção de um banco de dados considerável para que a plataforma de aprendizagem automática seja adequadamente treinada. Além disso, sendo uma tecnologia emergente, a manutenção prescritiva precisará amadurecer para gerar confiança na gestão não supervisionada de sistemas críticos de segurança (KOGUT, 2022).

4 MANUTENÇÃO PRESCRITIVA X DEMAIS MANUTENÇÕES

Conforme a figura 6 é ilustrado como é a tomada de decisão e ação de cada tipo de manutenção de acordo com os dados disponíveis e interferência humana.



Figura 6: Dados x Contribuição humana

Fonte: Retirado de ReliaSol e adaptado pelos autores.

Nesta imagem é possível ver que na manutenção corretiva, a quantidade de dados coletados é relativamente baixa e a contribuição humana é representada por uma fatia muito grande, destacando que a decisão de realizar a manutenção é fortemente baseada na intervenção humana, uma vez que há poucos dados disponíveis. Isso reflete a natureza reativa da manutenção corretiva.

Já na manutenção preventiva envolve a coleta regular de dados, como medições de desempenho e inspeções agendadas realizada por técnicos. Esses dados são usados para determinar quando a manutenção deve ser realizada ajudando apenas na orientação das decisões ainda tendo interferência humana significativa na interpretação dos dados e na programação das intervenções.

Na manutenção preditiva, a coleta de dados é contínua e abrangente. Sensores e sistemas de monitoramento coletam informações em tempo real sobre o desempenho e a condição dos equipamentos. Esses dados são processados por algoritmos de análise, reduzindo a necessidade de intervenção humana direta. A contribuição humana está mais focada na interpretação das informações geradas pelos algoritmos e na implementação das recomendações.

E por fim a manutenção prescritiva combina dados extensos coletados por sensores e sistemas IOT com algoritmos avançados de Machine Learning e IA. A quantidade de dados é muito alta, e os algoritmos podem não apenas prever falhas, mas também recomendar ações específicas. A contribuição humana é mais voltada para a revisão das recomendações e a tomada de decisões estratégicas com base nas informações fornecidas pelos sistemas.

Essa representação gráfica ilustra como a quantidade de dados coletados e a contribuição humana na tomada de decisão variam entre os diferentes tipos de manutenção, destacando o crescente uso e a importância da automação e dos dados à medida que avançamos, isso tudo impulsionado pelas ferramentas da indústria 4.0 proporcionando melhores práticas de manutenção e ações com melhor embasamentos a fim de se obter melhores resultados.

Já de acordo com a figura 7 é feito um comparativo de custos, vantagens e desvantagens entre as manutenções.

Figura 7: Comparação entre tipos de manutenção

Fonte: Autores (2023)

ESTRATÉGIA	RESUMO	CUSTO PARA IMPLMENTAR	VANTAGENS	DESVANTAGENS
CORRETIVA	Conserta quando quebra	Baixo	Os custos envolvidos são menores do que os da manutenção preventiva	Altos custos de mão-de-obra, peças e serviços
PREVENTIVA	Manutenção feita de acordo com um cronograma	Médio	Maior facilidade de cumprir programas de produção	Requer um plano detalhado estrategicamente de manutenção
PREDITIVA	Baseado em monitoramento e acompanhamento de sensores	Alto	Monitoramento é informado em tempo real	Muito caro e só viavel para ativos essenciais
PRESCRITIVA	Baseada no uso de ML e IA	Alto	Tomada de decisão e ação informada e eficiente	Altos custo de implementação e demora para se tornar eficaz

Ao comparar os diferentes tipos de manutenção, fica claro que cada abordagem tem suas vantagens e desvantagens distintas. A manutenção corretiva, embora possa ser mais acessível em termos de custos iniciais, muitas vezes resulta em tempo de inatividade não planejado e despesas imprevistas. A manutenção preventiva ajuda a evitar falhas, mas pode ser baseada em intervalos fixos, o que pode levar a manutenção excessiva ou insuficiente. Por outro lado, a manutenção preditiva utiliza monitoramento para orientar as decisões e a prescritiva utilizando recursos computacionais mais avançados com base em dados para fornecer

recomendações mais precisas, minimizando o tempo de inatividade e os custos de manutenção a longo prazo. No entanto, requerem investimentos significativos em sensores e tecnologia.

A escolha entre os tipos de manutenção depende das necessidades específicas de cada indústria e equipamento é necessário se observar diferentes critérios na escolha com base nos equipamentos, como criticidade do ativo para o processo, vida-útil e frequência de intervenções e de diferentes cenários como o ambiente em que se encontra o equipamento ou o orçamento destinado para a manutenção.

Uma boa gestão de ativos irá contemplar todos esses pontos e em uma análise que possa indicar a viabilidade de implementação da manutenção prescritiva ela emerge como a abordagem mais avançada, proativa e promissora, permitindo uma gestão mais eficaz e contribuindo para a eficiência operacional em um mercado cada vez mais dinâmico e desafiador.

5 CONCLUSÕES

A manutenção industrial desempenha um papel crucial em qualquer operação que dependa de máquinas e equipamentos para funcionar de forma eficiente. Historicamente, existem duas abordagens principais em relação à manutenção: a corretiva e a preventiva. A manutenção corretiva envolve a reparação de um componente somente quando ele falha, o que pode causar interrupções imprevistas e custos elevados de conserto. Por outro lado, a manutenção preventiva é baseada em inspeções e substituições predefinidas, independentemente do real estado dos componentes. Essa abordagem pode ser dispendiosa e às vezes ineficaz, uma vez que as peças podem ser substituídas antes mesmo de atingirem o fim da sua vida útil.

Por outro lado, a manutenção prescritiva adota uma abordagem mais avançada e baseada em dados. Utilizando sensores e análises avançadas, essa abordagem monitora continuamente o desempenho dos ativos e prevê quando uma falha é provável de ocorrer. Isso permite que as equipes de manutenção intervenham precisamente, realizando reparos apenas quando necessário, o que reduz os custos operacionais e minimiza o tempo improdutivo não planejado. Em resumo, a manutenção prescritiva representa um avanço significativo em relação às abordagens convencionais, tornando a manutenção mais eficiente, econômica e menos suscetível a falhas inesperadas. Em um mundo cada vez mais orientado para a eficiência e a otimização de recursos, a gestão de ativos e a manutenção desempenham um papel crucial na indústria moderna. Este artigo explorou a evolução, os conceitos e os tipos de manutenção mais usados nas indústrias, destacando as vantagens e desvantagens de cada abordagem e a evolução impulsionada pela Indústria 4.0 nos leva à manutenção prescritiva.

Esta evolução representa uma mudança fundamental na mentalidade e práticas industriais, passando de reatividade para previsão, prescrição e automação, proporcionando eficiência sem precedentes, oferecendo uma visão antecipada das necessidades e permitindo melhores decisões com base em dados, otimizando o desempenho dos ativos e minimizando o tempo de inatividade.

A manutenção prescritiva surge como uma abordagem promissora destacando -se como uma abordagem avançada e proativa, preparando o terreno para o futuro da indústria, onde a eficiência operacional é a chave para o sucesso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J. S., & Resende, A. A. (2022). “Análise Sobre as Técnicas da Manutenção e a Indústria 4.0”. *Em Simpósio de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Catalão*, 17 a 19 de agosto de 2022, Catalão, Goiás, Brasil.

DA ROCHA CARDOSO, D. E. (2020). “Aplicação de conceitos de manutenção preditiva com aplicação de ferramentas de Inteligência Artificial.” (Dissertação de mestrado). Universidade do Porto.

DAVIES, R. (2015). “Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth”. Think Tank European Parliament, 22-09-2015. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI\(2015\)568337](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2015)568337)

4457

IndustryWeek in collaboration with Emerson. (s.d.). PAID PROGRAM: “How Manufacturers Achieve Top Quartile Performance”. PARTNERS.WSJ. <https://partners.wsj.com/emerson/unlocking-performance/how-manufacturers-can-achieve-top-quartile-performance/>

KARDEC, A., & Nascif, J. (2009). *Manutenção: Função Estratégica* (3ª ed. ver. e amp.). Qualitymark: Petrobras.

KOGUT, W. (2022, 29 de dezembro). “The salesman’s perspective: Diagnosis and prognosis first, prescription and recommendations next. Prescriptive Maintenance as production processes healthcare”. ReliaSol The Art of Prediction. <https://reliasol.ai/prescriptive-maintenance-as-production-processes-healthcare/>

MARQUES, A. C., & Brito, J. N. (2019). “Importância da Manutenção Preditiva Para Diminuir o Custo em Manutenção e Aumentar a Vida Útil dos Equipamentos”. *Brazilian Journal of Development*, 5(7), 8913-8923.

MIKLOVIC, D. (17 de março de 2016). “What Comes After Predictive Maintenance?” LNS Research. <https://blog.lnsresearch.com/what-comes-after-predictive-maintenance>

SILVEIRA, C. B. (2016, fevereiro 11th). “Indústria 4.0: O que é, e Como Ela Vai Impactar o Mundo”. Citisystems. <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>

VIANA, H. R. G. (2002). *Planejamento e Controle da Manutenção*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed.

VILAS BÔAS, L. E. (2021, 23 de novembro). O que é manutenção prescritiva e como aplicá-la na indústria? LinkedIn. <https://www.linkedin.com/pulse/o-que-%C3%A9-manuten%C3%A7%C3%A3o-prescritiva-e-como-aplic%C3%A1-la-na-vilas-b%C3%B4as/?originalSubdomain=pt>

WILLICH, J. (2022, 30 de maio). “Tipos de manutenção: quais suas diferenças?” Produttivo. <https://www.produttivo.com.br/blog/tipos-de-manutencao-quais-suas-diferencas/>