



O IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL: benefícios, desafios e tendências

THE IMPACT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE ON INDUSTRIAL MAINTENANCE: benefits, challenges, and trends

David José Saran^I
Marina Cláudia Brustello Saran^{II}
Celso Luiz Franzotti^{III}

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar o uso da Inteligência Artificial (IA) na manutenção industrial, com base em estudos bibliográficos, destacando seus benefícios, desafios e tendências futuras. A aplicação da IA oferece benefícios significativos, permitindo a implementação de sistemas de manutenção preditiva, otimização de processos, diagnóstico de falhas, planejamento de manutenção, gestão de ativos e redução de custos operacionais. No entanto, enfrenta desafios como a qualidade dos dados, interpretabilidade dos modelos, adoção cultural e treinamento de pessoal, custo e infraestrutura de TI, e segurança dos dados. Para superar esses desafios, é necessário um enfoque proativo. O trabalho também destaca tendências futuras, como a integração com a Internet das Coisas (IoT), o desenvolvimento de sistemas autônomos, a explicabilidade dos modelos, o aprendizado contínuo e adaptativo, e o uso de técnicas de aprendizado profundo. Conclui-se que a IA tem o potencial de transformar as operações fabris, mas é essencial abordar os desafios de forma proativa e estar preparado para adotar as tendências emergentes.

Palavras-chave: gestão de ativos; inteligência artificial; manutenção industrial; otimização; prevenção de falhas.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the use of Artificial Intelligence (AI) in industrial maintenance, based on bibliographic studies, highlighting its benefits, challenges, and future trends. The application of AI offers significant advantages, including the implementation of predictive maintenance systems, process optimization, fault diagnosis, maintenance planning, asset management, and operational cost reduction. However, it faces challenges such as data quality, model interpretability, cultural adoption and personnel training, cost and IT infrastructure, and data security. Overcoming these challenges requires a proactive approach.

^I Engenheiro Mecânico e Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual Paulista, Tecnólogo em Gestão Empresarial pela Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo e Estudante do curso superior de Tecnologia em Manutenção Industrial pela Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo. E-mail: david.saran@fatec.sp.gov.br

^{II} Profa. Me. do curso superior de Tecnologia em Manutenção Industrial da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo. E-mail: marina.saran@fatec.sp.gov.br

^{III} Prof. Dr. dos cursos superiores de Tecnologia em Manutenção Industrial, Mecânica: Processos de Soldagem, Mecatrônica e Gestão da Produção Industrial da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo. E-mail: celso.franzotti@fatec.sp.gov.br



The paper also highlights future trends, such as integration with the Internet of Things (IoT), the development of autonomous systems, model explainability, continuous and adaptive learning, and the use of deep learning techniques. It is concluded that AI has the potential to transform manufacturing operations, but it is essential to address the challenges proactively and be prepared to adopt emerging trends.

Keywords: artificial intelligence; asset management; failure prevention; industrial maintenance; optimization.

Data de submissão do artigo: 15/07/2024.

Data de aprovação do artigo: 25/09/2024.

DOI: 10.33635/sitefa.v7i1.304

1 INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem se tornado uma ferramenta tecnológica amplamente adotada em diversos setores da sociedade, incluindo o mundo empresarial e industrial. Com a capacidade de processar grandes volumes de dados, identificar padrões e tomar decisões de forma autônoma, a IA está transformando a maneira como as empresas e indústrias operam e gerenciam seus negócios, buscando melhorar, constantemente o fluxo produtivo e a eficiência com soluções inteligentes. Em meio a essas novas ferramentas tecnológicas a utilização da inteligência artificial na gestão da manutenção torna-se um grande atrativo para as empresas e indústrias visto que uma boa gestão da manutenção reduz as paradas durante o processo produtivo, evita falhas nos ativos e conseqüentemente diminui atrasos, podendo ainda melhorar os custos e favorecendo os clientes. Neste contexto, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo bibliográfico destacando os principais benefícios, os desafios e as tendências futuras sobre o uso da IA na manutenção industrial

2 METODOLOGIA DE PESQUISA

Este trabalho foi elaborado com base em pesquisa bibliográfica sobre os benefícios, desafios e tendências do uso da inteligência artificial na manutenção industrial, tendo sido considerados trabalhos recentes corroborando a ideia de trazer uma análise atual, que aponte quais os caminhos da IA na manutenção industrial. Os principais pontos a serem analisados serão abordados nas seções seguintes.

3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

A eficiência industrial é um aspecto crucial no ambiente empresarial, já que diminuir os custos e aumentar a produtividade impactam diretamente a competitividade e o crescimento das empresas. Nesse contexto, a manutenção industrial desempenha um papel essencial na otimização dos processos produtivos.

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na manutenção industrial oferece uma série de benefícios significativos, capacitando as empresas a otimizarem suas operações e maximizarem a eficiência dos equipamentos (Costa, Pereira, Oliveira, & Martins, 2021). Como destacado por Barrero e Leão (2022, p. 35), "com a atual e crescente disputa industrial em suas áreas de atuação, a incumbência da velocidade de produção, coleta de dados e



processamento de informações se tornam itens necessários para que se tenham bons resultados na produção industrial". Nesse contexto, a IA emerge como uma ferramenta essencial para impulsionar a manutenção para além das práticas tradicionais, oferecendo soluções proativas e orientadas por dados. Com isso, o foco passa a ser a antecipação de eventos, evitando paradas desnecessárias e diminuindo custos, uma vez que as manutenções deverão ser menos recorrentes e mais assertivas (Barbosa, 2023).

Segundo Barrero e Leão (2022) a gestão da manutenção é dividida em três pilares: manutenção corretiva, manutenção preventiva e manutenção preditiva. A manutenção corretiva ocorre sempre que houver uma falha ou quebra em equipamentos, podendo ser paliativa na qual é feita um reparo parcial para que o equipamento volte a operar e pare em momento oportuno segundo um cronograma, ou pode ser curativa na qual ocorre reparo total do equipamento. A manutenção preventiva é a manutenção programada, realizada em períodos previamente determinados por manuais ou especialistas e proporciona muitos benefícios para a melhoria da produtividade e redução de paradas (Barrero; Leão, 2022).

A manutenção preditiva é um modelo baseado em padrões emergentes, que realiza monitoramento periódico de máquinas e processos. Utilizando as informações coletadas, a manutenção preditiva prevê a vida útil de um equipamento ou possíveis paradas com antecedência, resultando em melhor desempenho, maior eficiência e redução de custos. Desta forma se faz necessário o uso de ferramentas de qualidade e precisão que coletam os dados e os enviam para softwares analisadores, que poderão prever futuras situações problemáticas ou alarmes caso já esteja em situação crítica. A IA permite a implementação de sistemas de manutenção preditiva, que se utiliza de algoritmos para prever falhas em equipamentos industriais com base em dados de sensores e históricos de manutenção. Essa abordagem ajuda a evitar paradas não planejadas e reduzir os custos associados à manutenção corretiva (Pinto 2021).

3.1 Benefícios do uso da Inteligência Artificial na Manutenção Industrial

Nas seções a seguir destacam-se os principais benefícios sobre o uso da IA na manutenção industrial, segundo a revisão de literatura realizada para elaborar este trabalho.

3.1.1 Otimização de processos

Segundo Zancan, Passador e Passador (2023), os algoritmos de IA podem analisar continuamente grandes volumes de dados, em tempo real possibilitando tomadas de decisões mais precisas e rápidas que levem a otimização da gestão e dos processos industriais, identificando gargalos, ineficiências e áreas que necessitam de melhorias. Além disso, através dessa análise contínua, a IA é capaz de ajustar automaticamente variáveis do processo, como temperatura, pressão ou velocidade de produção, garantindo que as operações ocorram de maneira otimizada e com o mínimo de desperdício.

3.1.2 Diagnóstico de falhas

De acordo com Zhao *et al.* (2021), os softwares e sistemas que utilizam a IA detectam, em tempo real os problemas e falhas em equipamentos e plantas industriais, utilizando sensores que são capazes de gerar um grande volume de dados, automaticamente. Essa



capacidade de diagnóstico rápido não só reduz o tempo de inatividade ao agilizar as respostas a falhas, como também contribui para a longevidade dos equipamentos, ao garantir que intervenções de manutenção sejam realizadas de maneira oportuna e eficiente. Assim, a integração de IA no diagnóstico de equipamentos não apenas melhora a eficiência operacional, mas também aumenta a confiabilidade das operações industriais, favorecendo a competitividade no mercado.

3.1.3 Planejamento de manutenção

Algoritmos de IA são capazes de analisar dados históricos de manutenção e condições operacionais para otimizar o planejamento de manutenção. Isso inclui a programação de inspeções e substituições de peças de acordo com a probabilidade de falha, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos e identificando as condições e o desempenho real dos equipamentos (Souza *et al.*, 2022).

3.1.4 Gestão de ativos

A gestão de ativos na manutenção é um processo estratégico que envolve a administração eficiente dos ativos físicos de uma empresa, como máquinas, equipamentos e instalações, com o objetivo de maximizar seu valor ao longo de seu ciclo de vida (Silva, 2022).

Segundo Sá (2021), a gestão de ativos contempla os principais parâmetros necessários para que as melhores decisões sejam tomadas dentro do processo industrial, dessa forma a IA pode monitorar continuamente o desempenho e a integridade dos ativos industriais. Essa abordagem ajuda a identificar áreas de risco e priorizar a alocação de recursos de manutenção de forma mais eficaz.

3.1.5 Redução de custos

Conforme destacado por Barbosa (2023, p. 2):

O potencial das ferramentas de Inteligência Artificial, mais concretamente o Machine Learning, prevê com muita confiança uma melhoria na disponibilidade dos sistemas, reduzindo os custos de manutenção, aumentando o desempenho operacional e ainda a capacidade de apoio na tomada de decisão em relação ao ponto ideal no tempo e a ação ideal para a realização da intervenção de manutenção.

Ou ainda para Souza *et.al* (2022 p. 7064) “O avanço e modernização da indústria originaram um mercado extremamente eficiente e competitivo, de forma que a corrida pela inovação, garantia da qualidade e redução de custos, está cada vez mais acirrada entre as organizações”.

Esses exemplos ilustram como a Inteligência Artificial está transformando a manutenção industrial, oferecendo benefícios tangíveis que impulsionam a eficiência e a confiabilidade das operações fabris.



3.2 Desafios e limitações da Inteligência Artificial

Junto com os benefícios substanciais que a IA oferece, também surgem desafios e limitações que exigem atenção cuidadosa. Nesta seção, exploraremos alguns desses desafios e limitações, destacando a importância de abordá-los proativamente para garantir o sucesso da adoção da IA na manutenção industrial.

3.2.1 Qualidade dos dados

Um dos desafios-chave enfrentados na aplicação da IA na manutenção industrial é a qualidade dos dados. Como destacado por Menezes, Barbosa e Garzon (2023, p. 9), "A otimização de bancos de dados utilizando IA envolve a aplicação de algoritmos e modelos de aprendizado de máquina para aprimorar o desempenho e a eficiência dos sistemas de armazenamento e recuperação de dados". Ou seja, pode-se dizer que dados imprecisos, incompletos ou inconsistentes podem resultar em diagnósticos errôneos e decisões inadequadas.

3.2.2 Interpretabilidade dos modelos

A falta de interpretabilidade dos modelos de IA é outro desafio significativo. Conforme observado por Barbosa (2023, p. 62), "O difícil equilíbrio entre intervenção humana e automação é mais facilmente alcançado se os sistemas estiverem equipados com modelos fáceis de interpretar e entender". Dessa forma, o uso de modelos mais complexos será um desafio e até mesmo um problema para os engenheiros e tecnólogos de manutenção compreenderem como tais modelos chegaram a determinadas conclusões, o que pode limitar a confiança na sua aplicação prática.

3.2.3 Adoção cultural e treinamento de pessoal

A adoção cultural e o treinamento de pessoal representam desafios importantes na implementação da IA na manutenção industrial. A maioria das empresas brasileiras ainda atuam dentro do que conhecemos como segunda e terceira revolução industrial e conforme ressaltado por Souza *et.al* (2022, p. 7081), "A transição destas empresas para a quarta revolução industrial requer investimento financeiro, implementação de políticas estratégicas e treinamento adequado". É crucial capacitar os funcionários para entenderem e utilizarem efetivamente as ferramentas de IA na manutenção dos equipamentos.

3.2.4 Custo e Infraestrutura de TI

O custo e a infraestrutura de TI necessários para implementar sistemas de IA também são desafios a serem considerados. A coleta, armazenamento e processamento de grandes volumes de dados requerem investimentos significativos em infraestrutura de TI. Isto pode se demonstrar muito desafiador, principalmente implementar infraestrutura para sistemas de IA para as pequenas e médias empresas com recursos limitados.



3.2.5 Segurança e privacidade dos dados

A segurança e a privacidade dos dados são preocupações cruciais na aplicação da IA na manutenção industrial. Medidas físicas e lógicas de segurança devem ser utilizadas para proteção dos dados confidenciais das empresas pois a exposição de dados sensíveis pode levar a violações de segurança e comprometer a integridade dos sistemas de IA (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA - CNI, 2016). É essencial implementar medidas robustas de segurança cibernética para proteger os dados contra acessos não autorizados e ataques maliciosos. Esses exemplos destacam os desafios e limitações que as empresas enfrentam ao adotar a IA na manutenção industrial, enfatizando a importância de abordá-los de forma proativa para maximizar os benefícios dessa tecnologia.

3.3 Tendências futuras

Nesta seção, será exposto alguns exemplos que ilustram as tendências futuras da IA na manutenção industrial, destacando as direções promissoras que estão surgindo nesse campo em constante evolução.

3.3.1 Integração com a Internet das coisas (IoT)

Uma tendência emergente na manutenção industrial, principalmente na manutenção preditiva é a integração da IA com a Internet das Coisas (IoT). Conforme observado por Machado *et al.* (2023, p. 4451), "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", sendo essa a principal característica da manutenção preditiva. Os dados são processados por algoritmos de análise sendo a intervenção humana focada apenas na interpretação dos dados.

3.3.2 Desenvolvimento de Sistemas Autônomos

Outra tendência é o desenvolvimento de sistemas autônomos de manutenção industrial que conseguem identificar, diagnosticar e resolver problemas por conta própria devido ao uso da Inteligência Artificial, diminuindo a necessidade de intervenção humana e melhorando a eficiência operacional. (Hu *et al.* 2021).

3.3.3 Explicabilidade e transparência

A demanda por IA explicável e transparente na manutenção industrial está aumentando. É essencial que os sistemas de IA sejam capazes de explicar suas decisões e processos de raciocínio para os engenheiros de manutenção, garantindo confiança e compreensão. Para Barbosa (2023) um dos principais benefícios em aumentar a explicabilidade dos sistemas de IA é gerar um aumento da confiança no sistema, permitindo ao utilizador a capacidade de entender o que levou a uma determinada recomendação fornecida pela IA, o nível de confiança dessa recomendação é elevado.



3.3.4 Aprendizado contínuo e adaptativo

A capacidade de aprendizado contínuo e adaptativo dos sistemas de IA é uma tendência importante, não só na manutenção industrial, mas como em todas as diferentes áreas em que a IA vem se desenvolvendo. Os sistemas de IA na manutenção industrial estão evoluindo para se tornarem mais adaptativos, aprendendo com novos dados e ajustando seus modelos de acordo com as mudanças nas condições operacionais.

3.3.5 Uso de técnicas de aprendizado profundo

Segundo Torres Jr., Machado, e Souza (2005, p. 30), “Modelos baseados em redes neurais vêm sendo utilizados com sucesso na previsão de séries temporais”. O uso de técnicas avançadas de aprendizado profundo está se tornando mais difundido na manutenção industrial. Redes neurais profundas e outras técnicas de aprendizado estão sendo aplicadas com sucesso para análise de falhas, prognóstico de vida útil e otimização de processos de manutenção.

4 DISCUSSÃO

A análise do uso da Inteligência Artificial (IA) na manutenção industrial revela uma série de benefícios significativos que essa tecnologia proporciona, bem como desafios e limitações que precisam ser enfrentados. A implementação da IA na manutenção industrial oferece vantagens como manutenção preditiva, otimização de processos, diagnóstico de falhas, planejamento de manutenção, gestão de ativos e redução de custos. Esses benefícios contribuem para melhorar a eficiência operacional, aumentar a confiabilidade dos equipamentos e reduzir os custos de manutenção.

No entanto, junto com os benefícios, surgem desafios e limitações que exigem atenção cuidadosa. A qualidade dos dados, interpretabilidade dos modelos, adoção cultural e treinamento de pessoal, custo e infraestrutura de TI, e segurança e privacidade dos dados são alguns dos desafios enfrentados na implementação da IA na manutenção industrial. Desta forma é de extrema importância abordar esses desafios de forma proativa para garantir o sucesso da adoção da IA e maximizar seus benefícios.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar o uso da Inteligência Artificial na manutenção industrial, fica evidente que essa tecnologia tem o potencial de transformar radicalmente as operações fabris. Os benefícios oferecidos pela IA, como manutenção preditiva, otimização de processos e redução de custos, são significativos e contribuem para aumentar a eficiência e a confiabilidade dos equipamentos industriais.

No entanto, para aproveitar ao máximo os benefícios da IA, é crucial enfrentar os desafios e limitações associados à sua implementação. A qualidade dos dados, interpretabilidade dos modelos, adoção cultural e treinamento de pessoal, custo e infraestrutura de TI, e segurança e privacidade dos dados são áreas que exigem atenção especial.



À medida que a tecnologia continua a evoluir, é importante que as empresas estejam preparadas para abraçar as tendências futuras da IA na manutenção industrial, como a integração com Internet das Coisas (IoT), desenvolvimento de sistemas autônomos, explicabilidade e transparência, aprendizado contínuo e adaptativo, e uso de técnicas de aprendizado profundo. Com uma abordagem proativa e uma compreensão aprofundada dos desafios e tendências da IA, as empresas estarão prontas para maximizar o potencial transformador dessa tecnologia na manutenção industrial.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, Jorge Diamantino Moreira. **Manutenção preditiva com recurso a Inteligência Artificial**. 2023. Dissertação de Mestrado Integrado (Engenharia Eletrotécnica e de Computadores) – Universidade de Coimbra. Coimbra, 2023. Disponível em [Dissertação \(uc.pt\)](#). Acesso em: 15 maio 2024.
- BARRERO, Eduardo de Castro; LEÃO, Leandro Santos. **Inteligência Artificial Aplicada Na Gestão De Manutenção**. 2022. Trabalho de Graduação (Engenharia de Controle e Automação) - Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Goiânia, GO, 2022. Disponível em [TCC - Final - Eduardo e Leandro.pdf \(pucgoias.edu.br\)](#). Acesso em: 15 maio 2024.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil** / Confederação Nacional da Indústria. – Brasília: CNI, 2016. Disponível em [desafios para industria 40 no brasil.pdf \(portaldaindustria.com.br\)](#). Acesso em: 15 maio 2024.
- HU, J.; WANG, L.; LIU, H.; LIU, F. An autonomous intelligent maintenance system for CNC machine tools using edge computing and deep reinforcement learning. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 59, p. 429-439, 2021. Disponível em: [dl.acm.org/doi/10.1145/3236009](https://doi.org/10.1145/3236009). Acesso em: 15 maio 2024.
- MACHADO, C. O.; JUNIOR, S. C. M.; CELESTINO, Y. V. S.; JUNIOR, A. S. R. Manutenção Prescritiva: A Evolução Da Manutenção Na Industria 4.0. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v.9.n.09. set. 2023. Disponível em <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/11476/5183>. Acesso em: 15 maio 2024.
- MENEZES, Itala Vitória Coimbra Borges de; BARBOSA, Luiz Sergio de Oliveira; GARZON, Newdon Ataíde. APLICAÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA OTIMIZAÇÃO DE BANCO DE DADOS. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 4, n. 12, p. e4124516, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i12.4516. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/4516>. Acesso em: 15 jul. 2024.
- PINTO, Marcela Coury. **Sistema De Manutenção Preditiva De Falhas Em Válvulas Em Um Processo Industrial Utilizando Inteligência Artificial**. 2021. Trabalho de Graduação (Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia,



MG, 2021. Disponível em [SistemaManutençãoPreditiva.pdf \(ufu.br\)](#). Acesso em 20 maio 2024.

SÁ, João Diego Conceição de. **Estudo de Engenharia de Confiabilidade e Aplicação de Ferramenta de Inteligência Artificial na Gestão de Ativos de uma Unidade Industrial na Amazônia**. 2021. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Processos) – Universidade Federal do Pará. Belém, PA, 2021. Disponível em [DISSERTAÇÃO \(ufpa.br\)](#). Acesso em: 20 maio 2024.

SILVA, Renan Favarão da. **Estrutura de gerenciamento de manutenção para a gestão de ativos físicos**. 2022. Tese de Doutorado (Engenharia Mecânica de Projeto e de Fabricação) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. SP, 2022. Disponível em <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3151/tde-12082022-101810/en.php>. Acesso em: 06 set. 2024.

SOUZA, V. C.; MARCHI, C. S.; BUENO, N. V.; FAUSTINO, T. S.; BARREIRO, T. A. Utilização das tecnologias da indústria 4.0 na manutenção preditiva através do monitoramento de equipamentos e instalações. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v.8, n.1, p. 7063-7083. 2022. Disponível em [admin,+Art+478++BJD++Jan+22.pdf](#). Acesso em: 15 maio 2024.

TORRES JR, R. G.; MACHADO, M. A. S.; SOUZA, R. C. Previsão de séries temporais de falhas em manutenção industrial usando redes neurais. **ENGEVISTA**, v. 7, n. 2, p. 4-18, 2005. Disponível em [PREVISÃO DE SRIES TEMPORAIS DE FALHAS EM 20210621-30546-dh68q1.pdf \(d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net\)](#). Acesso em: 20 maio 2024.

ZANCAN, C.; PASSADOR, J. L.; PASSADOR, C. S. Modelos De Inteligência Artificial Na Gestão De Consórcios Intermunicipais Brasileiros. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, Novo Hamburgo, v. 20, n. 2, 2023. Disponível em <https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistagestaoedesenvolvimento/article/view/3424/3230>. Acesso em: 15 maio 2024.

ZHAO, S.; ZHANG, Z.; ZHANG, H.; YU, X. Research on the Application of Artificial Intelligence in Failure Diagnosis of Mechanical Equipment. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 1095, n. 1, p. 012-128, 2021. Disponível em <ieeexplore.ieee.org/document/8630721>. Acesso em: 15 maio 2024.