

INTEGRAÇÃO DE METODOLOGIAS DE QUALIDADE E IOT PARA MANUTENÇÃO PREDITIVA EM MÁQUINAS INJETORAS

INTEGRATION OF QUALITY METHODOLOGIES AND IOT FOR PREDICTIVE MAINTENANCE IN INJECTION MOLDING MACHINES

Alef Maia Mendes¹

Jonathan Oliveira Nery²

Luciene Prospero³

¹UNIS, Varginha, Minas Gerais, alefmaiamendes@gmail.com

²UNIS, Varginha, Minas Gerais, jonathan.nery@professor.unis.edu.br

³UNIS, Varginha, Minas Gerais, luciene.prosperi@professor.unis.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A manutenção industrial é um dos pilares fundamentais para a eficiência de processos produtivos. No setor de injeção plástica, as máquinas injetoras assumem papel central na fabricação de componentes com qualidade e em alta escala. Contudo, sua operação contínua sob condições severas (altas temperaturas, pressões e ciclos repetitivos) as torna suscetíveis a falhas mecânicas, hidráulicas, elétricas e de controle, que podem gerar paradas não programadas, perda de produtividade e aumento de custos.

Tradicionalmente, a gestão da manutenção tem se apoiado em metodologias de qualidade, como o ciclo PDCA, o Diagrama de Ishikawa e planos de ação estruturados, além do uso de indicadores de desempenho como MTBF, MTTR e Disponibilidade. Essas ferramentas permitem analisar falhas, padronizar correções e promover melhoria contínua. No entanto, apesar de sua eficácia, essas práticas ainda dependem, em grande parte, de registros manuais e análises reativas baseadas em históricos.

Com o avanço da "Indústria 4.0", a Integração da Internet das Coisas (IoT) à manutenção industrial representa uma oportunidade de transformação. A instalação de

sensores inteligentes em máquinas injetoras possibilita a coleta em tempo real de variáveis críticas, como vibração, temperatura, pressão hidráulica, qualidade do óleo e consumo de energia. Esses dados, integrados a sistemas de gestão e dashboards analíticos, permitem não apenas identificar falhas potenciais de forma antecipada, mas também aprimorar a aplicação das metodologias de qualidade.

Apesar do uso consolidado de metodologias de qualidade na manutenção de máquinas injetoras, grande parte das práticas ainda se apoia em registros manuais e análises reativas. Ao mesmo tempo, a IoT possibilita coleta em tempo real de dados críticos, mas sua integração às metodologias tradicionais ainda é pouco explorada em muitas indústrias.

Assim, a integração entre IoT e metodologias da qualidade potencializa a manutenção preditiva, combinando dados em tempo real com a disciplina de ferramentas analíticas. O PDCA, por exemplo, ganha maior robustez ao planejar ações com base em dados contínuos; a análise de causa raiz via Ishikawa se torna mais precisa quando alimentada por informações de sensores; e os indicadores de desempenho passam a refletir a realidade operacional com maior exatidão.

O problema de pesquisa se dá como a integração entre metodologias de qualidade e tecnologias de IoT pode aprimorar a manutenção preditiva em máquinas injetoras, de forma a reduzir falhas, aumentar a disponibilidade e melhorar a produtividade no setor de injeção plástica.

A integração entre metodologias de qualidade e tecnologias de IoT contribui para tornar a manutenção preditiva em máquinas injetoras mais eficiente, ao possibilitar análises mais precisas, redução de falhas não programadas, aumento da disponibilidade dos equipamentos e maior produtividade.

O objetivo geral do trabalho é descrever como a integração entre metodologias de qualidade e tecnologias de IoT pode aprimorar a manutenção preditiva em máquinas injetoras, visando a redução de falhas, o aumento da disponibilidade e a melhoria da produtividade. Já os objetivos específicos:

- a) Mapear as principais falhas recorrentes em máquinas injetoras no setor de injeção plástica.
- b) Examinar as metodologias de qualidade aplicadas à manutenção (como PDCA, Ishikawa e indicadores de desempenho: MTBF, MTTR e Disponibilidade).

- c) Identificar as tecnologias de IoT mais adequadas para o monitoramento em tempo real de variáveis críticas em máquinas injetoras.
- d) Analisar de que maneira os dados coletados por sensores IoT podem complementar e fortalecer a aplicação das metodologias de qualidade.

A escolha do tema se justifica pela importância estratégica da manutenção industrial no setor de injeção plástica, especialmente em empresas de eletrodomésticos, onde as máquinas injetoras são responsáveis por grande parte da produção em escala. Paradas não programadas e falhas nesses equipamentos podem gerar atrasos significativos, aumento de custos e comprometimento da qualidade dos produtos finais.

A pesquisa apresenta relevância por propor uma abordagem inovadora, que combina metodologias tradicionais de qualidade com recursos da Internet das Coisas (IoT), permitindo não apenas a coleta em tempo real de dados críticos, mas também sua integração em ferramentas analíticas já consolidadas na gestão da manutenção. Tal integração potencializa a tomada de decisão, promovendo maior precisão na identificação de falhas e eficiência na execução de ações corretivas e preditivas.

Do ponto de vista ambiental, a redução de falhas e otimização dos processos contribui para a diminuição de desperdícios de energia, matérias-primas e insumos, além de minimizar a geração de resíduos decorrentes de paradas emergenciais e peças defeituosas.

No aspecto social, a aplicação prática da proposta pode resultar em melhores condições de trabalho para operadores e equipes de manutenção, reduzindo a sobrecarga gerada por falhas inesperadas e aumentando a segurança operacional.

Quanto ao impacto financeiro, a pesquisa busca evidenciar que a integração entre IoT e metodologias de qualidade pode representar ganhos significativos de produtividade, redução de custos de manutenção corretiva e maior disponibilidade das máquinas, fatores que fortalecem a competitividade da indústria de injeção plástica no mercado.

Assim, este estudo contribui tanto para o avanço científico, ao integrar diferentes áreas do conhecimento (qualidade e tecnologias emergentes), quanto para a prática industrial, oferecendo novas ideias para que empresas adotem estratégias mais inteligentes e sustentáveis de manutenção preditiva.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A manutenção industrial exerce papel vital na gestão de ativos em ambientes produtivos, pois engloba ações técnicas e gerenciais voltadas a garantir que os

equipamentos operem dentro de condições adequadas, assegurando confiabilidade, segurança e eficiência. Nesse contexto, a manutenção prévia deixa de ser apenas reativa e passa a assumir caráter estratégico, impactando diretamente nos custos operacionais, na disponibilidade dos equipamentos e na competitividade organizacional (Pech *et al.*, 2021).

Com a evolução da Indústria 4.0, a Internet das Coisas (IoT) vem sendo incorporada a sistemas de manutenção para habilitar monitoramento em tempo real e apoio à tomada de decisão preditiva. Elkateb *et al.* (2024) apresentam um enfoque no qual sensores conectados coletam dados contínuos sobre variáveis críticas, tais como vibração, temperatura, corrente elétrica, e alimentam modelos analíticos capazes de prever falhas iminentes. Essa abordagem permite que intervenções sejam realizadas antes que os problemas se manifestem de forma catastrófica, reduzindo o tempo de parada e melhorando a confiabilidade dos ativos.

A manutenção preditiva (PdM) representa uma evolução significativa das estratégias clássicas de manutenção, baseando-se no monitoramento de condições operacionais dos ativos para antever falhas, em vez de agir apenas com base em cronogramas fixos ou após a ocorrência de falha. Conforme Benhanifia *et al.* (2025), a PdM surge como ferramenta transformadora no contexto da Indústria 4.0, ao permitir que os gestores antecipem falhas e planejem intervenções de forma mais eficaz, reduzindo custos e aumentando a confiabilidade dos equipamentos.

Ainda mais especificamente, em máquinas de injeção plástica, os estudos mostram que o monitoramento constante de parâmetros como pressão de injeção, temperatura do fluido hidráulico e vibração do sistema mecânico pode antecipar desgaste ou desajustes, facilitando ações de manutenção com menor impacto no ciclo produtivo (Mgbemena *et al.*, 2023). Essa mudança de paradigma alinha a manutenção preditiva com os princípios de melhoria contínua, promovendo um ciclo constante de coleta, análise e ação.

No âmbito das metodologias da qualidade, ferramentas como o ciclo PDCA e o Diagrama de Ishikawa continuam sendo pilares para a estruturação, controle e análise de processos. A American Society for Quality (2022) destaca que essas práticas permitem organizar etapas de planejamento, execução, verificação e ação, bem como identificar causas raiz por meio da categorização sistemática (máquina, método, material etc.). Essa estrutura, quando alimentada com dados de sensores IoT, ganha robustez: as hipóteses de causa podem ser testadas com dados quantitativos e as ações se tornam mais precisas e contextualizadas.

Além disso, uma revisão sistemática recente (Benhanifia *et al.*, 2025) demonstra que, quando bem implementadas, integrações de IoT e técnicas de qualidade resultam em melhorias mensuráveis nos indicadores de manutenção, como redução do tempo médio de reparo (MTTR), aumento do tempo médio entre falhas (MTBF) e elevação da disponibilidade operacional. Essa convergência entre análise de dados e gestão da qualidade evidencia que a simples coleta de dados não é suficiente: é necessário construir um fluxo inteligente que promova aprendizado, retroalimentação e ajustes constantes nas estratégias de manutenção.

Desafios, no entanto, persistem nessa integração tecnológica e gerencial. Entre eles figuram a definição dos pontos de medição mais relevantes, a necessidade de interoperabilidade entre protocolos e sistemas legados, a qualidade dos dados coletados (ruídos, falhas de comunicação) e a capacidade analítica para interpretar volumes massivos de informação. Também se destacam barreiras organizacionais, como resistência à mudança e lacunas de capacitação técnica, que podem comprometer a aceitação e eficácia das soluções integradas (Benhanifia *et al.*, 2025).

2.1 Máquina Injetora

A máquina injetora de plástico, mostrada na Figura 1 abaixo, é o equipamento central no processo de moldagem por injeção, sendo amplamente utilizada na fabricação de peças plásticas técnicas e de consumo, como as carcaças de eletrodomésticos produzidas pela empresa. Seu funcionamento baseia-se na introdução de material plástico fundido em um molde fechado sob alta pressão, onde o material se solidifica e adquire a forma desejada.

Figura 1 – Máquina injetora de plástico

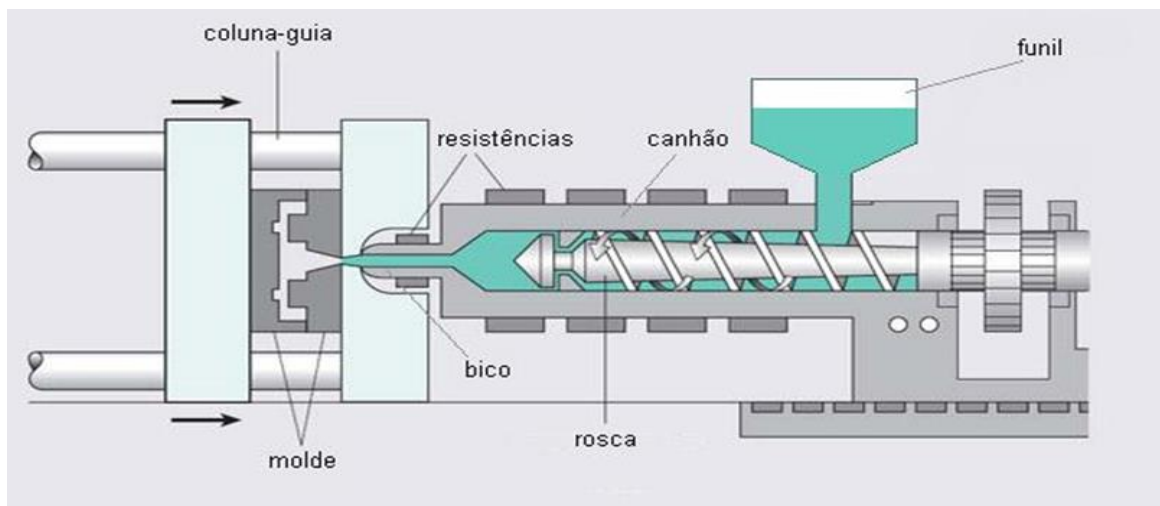


Fonte: M&S Industrial (2025)

2.1.1 Princípio de Funcionamento

O ciclo de injeção inicia-se com o fechamento do molde, mostrado a esquerda da Figura 2, etapa em que as duas metades do molde são unidas com alta força para resistir à pressão da injeção. Em seguida, o material plástico granulado é alimentado por uma tremonha e passa pelo cilindro de plastificação, onde é aquecido por resistências e homogeneizado por um fuso (rosca). O fuso gira e avança, forçando o material fundido a ser injetado com pressão na cavidade do molde. Após o preenchimento, o sistema entra em fase de recalque e resfriamento, garantindo que o plástico tome forma e solidifique. Por fim, o molde se abre e o sistema de extração empurra a peça para fora, completando o ciclo.

Figura 2 – Esquema de máquina injetora de plástico



Fonte: LOPES e WILTGEN (2025)

2.1.2 Componentes Principais

Para compreender o funcionamento de uma máquina injetora e sua relevância no processo produtivo, é essencial conhecer seus principais componentes e a função que cada um desempenha no ciclo de injeção. Esses elementos trabalham de forma integrada para garantir a precisão, a repetibilidade e a eficiência na fabricação das peças plásticas. A seguir, são descritos os principais conjuntos e sistemas que compõem a máquina injetora, destacando-se suas funções mecânicas, hidráulicas e de controle.

- a) Unidade de Fechamento: responsável por abrir e fechar o molde com força controlada. Pode ser do tipo hidráulico, mecânico ou elétrico.

- b) Unidade de Injeção: composta pela tremonha, cilindro de plastificação, resistências, termopares e o fuso. Esta parte funde e injeta o material plástico.
- c) Placa móvel e placa fixa: sustentam o molde e realizam os movimentos de abertura/fechamento.
- d) Sistema hidráulico ou servo motor: fornece a força necessária para os movimentos da máquina.
- e) CLP (Controlador Lógico Programável): realiza o controle do ciclo de injeção, regulando tempos, pressões, temperaturas e sequência de operação.

2.1.3 Relevância no Processo Produtivo

Na indústria em questão, a confiabilidade das máquinas injetoras é essencial para garantir a qualidade dos produtos e a eficiência do processo produtivo. Por operarem de forma contínua e sob condições severas (altas temperaturas, pressões e ciclos repetitivos), essas máquinas estão sujeitas a falhas mecânicas, hidráulicas e eletrônicas. Daí a importância de uma manutenção estruturada e do uso de ferramentas para o monitoramento de variáveis críticas. Esse fato pode ser comprovado pela análise dos KPI relacionados às injetoras.

2.2 KPI: MTBF, MTTR e Disponibilidade

MTBF (“*mean time between failures*”, ou “tempo médio entre falhas”): mede o tempo médio em que um equipamento funciona corretamente entre falhas. Um MTBF elevado indica que o equipamento está operando de forma confiável, o que reflete uma utilização e preventiva eficaz.

MTTR (“*mean Time to repair*”, ou “tempo médio para reparo”): avalia o tempo médio gasto para reparar um equipamento após uma falha. O objetivo é manter o MTTR o mais baixo possível, reduzindo o tempo de inatividade e o impacto na produção.

Disponibilidade: refere-se ao percentual de tempo em que o equipamento está disponível para uso em relação ao tempo total de operação. A alta disponibilidade é um indicador de que os equipamentos estão sendo mantidos de maneira eficiente e estão prontos para atender à demanda da produção.

Em síntese, o referencial teórico aponta que a integração entre metodologias de qualidade e tecnologias de IoT é uma via promissora para tornar a manutenção preditiva mais eficaz, especialmente em ambientes industriais exigentes, como o da injeção

plástica. O presente trabalho, ao descrever essa integração aplicada a máquinas injetoras, busca preencher lacunas identificadas na literatura e oferecer um modelo conceitual e prático para implementação em indústrias brasileiras.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza bibliográfica e documental, voltada à compreensão teórica e prática da integração entre metodologias de qualidade e tecnologias de Internet das Coisas (IoT) aplicadas à manutenção preditiva em máquinas injetoras.

Segundo Gil (2017), a pesquisa bibliográfica consiste na análise de materiais já publicados, como livros, artigos científicos e publicações especializadas com o objetivo de fundamentar teoricamente o tema estudado. Dessa forma, o trabalho apoia-se em fontes científicas atuais que abordam manutenção industrial, IoT, metodologias de qualidade (PDCA, Ishikawa) e indicadores de desempenho (MTBF, MTTR, Disponibilidade e KPIs).

A pesquisa documental, por sua vez, conforme Marconi e Lakatos (2019), baseia-se na consulta e interpretação de documentos técnicos, relatórios, manuais de manutenção e publicações institucionais que tratam da aplicação de tecnologias digitais no contexto industrial. Esses documentos complementam a revisão bibliográfica, oferecendo uma visão prática das implementações e resultados obtidos em ambientes reais de produção.

O estudo será desenvolvido com foco analítico-descritivo, buscando descrever como a integração entre IoT e metodologias de qualidade pode aprimorar a manutenção preditiva em máquinas injetoras, conforme proposto no objetivo geral. Serão abordadas publicações científicas obtidas em bases como *Scimedirect*, *ResearchGate*.

Por fim, o trabalho não envolverá experimentação prática, mas buscará oferecer subsídios teóricos e estruturais para futuras aplicações industriais, contribuindo para a consolidação do conhecimento sobre a integração entre qualidade e IoT na manutenção preditiva.

4 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se que esta pesquisa contribua para o avanço científico e prático da manutenção preditiva aplicada a máquinas injetoras, ao descrever de forma detalhada como a integração entre metodologias de qualidade e tecnologias de Internet das Coisas

(IoT) pode aprimorar o desempenho e a confiabilidade dos processos produtivos no setor de injeção plástica.

4.1 Contribuições acadêmicas

Como resultado acadêmico, pretende-se fortalecer a base teórica sobre a aplicação conjunta de ferramentas de qualidade (PDCA, Ishikawa e indicadores de desempenho) com tecnologias de monitoramento inteligente baseadas em IoT. A pesquisa busca comprovar a hipótese de que essa integração proporciona ganhos significativos na gestão da manutenção, servindo de referência para futuros estudos sobre Indústria 4.0 e manutenção inteligente.

4.2 Contribuições práticas e sociais

Do ponto de vista prático, os resultados esperados incluem uma maior disseminação de informação para que alcance cada vez mais empresas e pessoas interessadas, a integração entre IoT e metodologias da qualidade, aplicável em indústrias que utilizam máquinas injetoras, bem como qualquer outro processo que possa se beneficiar da leitura de dados em tempo real.

A pesquisa também pretende fornecer informações relevantes para a tomada de decisão industrial, permitindo a redução de falhas, o aumento da disponibilidade dos equipamentos e a melhoria da produtividade.

Socialmente, espera-se que a adoção dessas práticas resulte em melhores condições de trabalho, maior segurança operacional e menor sobrecarga para as equipes de manutenção, além de contribuir para a sustentabilidade industrial, ao reduzir desperdícios de energia e materiais.

4.3 Geração de recursos e impactos

No campo da formação profissional, o trabalho visa desenvolver competências técnicas e analíticas em manutenção preditiva, IoT e gestão da qualidade, contribuindo para a formação de profissionais mais qualificados para a Indústria 4.0. Entre os impactos esperados, destacam-se:

- a) Científicos: difusão de conhecimento e aprimoramento de metodologias de manutenção inteligente;

- b) Econômicos: redução de custos de manutenção corretiva e aumento da eficiência produtiva;
- c) Ambientais: diminuição de resíduos industriais e uso mais racional de energia;
- d) Sociais: valorização do trabalho técnico e elevação da competitividade industrial.

Em síntese, os resultados deste estudo devem unir teoria e prática, fornecendo subsídios para que empresas do setor de injeção plástica adotem estratégias sustentáveis, inteligentes e baseadas em dados, consolidando a manutenção preditiva como um elemento essencial da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

ASQ – American Society for Quality. Diagrama de Ishikawa e ferramentas de gestão da qualidade. Milwaukee: ASQ, 2022. Disponível em: asq.org/quality-resources/fishbone

BENHANIFIA, A. *et al.* Systematic review of predictive maintenance practices in manufacturing industry. ScienceDirect, 2025. Disponível em: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667305325000274

ELKATEB, S. *et al.* Machine Learning and IoT – Based predictive maintenance approach for industrial applications. ResearchGate, 2024. Disponível em: www.researchgate.net/publication/377535081_Machine_learning_and_IoT_-_Based_predictive_maintenance_approach_for_industrial_applications.

GIL, Antonio Carlos. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008. Disponível em: www.ayanrafael.com/wp-content/uploads/2011/08/gil-a-c-mc3a9todos-e-tc3a9cnicas-de-pesquisa-social.pdf

LOPES, M. *et al.* Figura 2. Manufatura aditiva e subtrativa na construção de moldes mecânicos híbridos para aplicação em manufatura formativa. ResearchGate, 2022. Disponível em: www.researchgate.net/publication/364348497_ARTIGO_MANUFATURA_ADITIVA_E_SUBTRATIVA_NA_CONSTRUCAO_DE_MOLDES_MECANICOS_HIBRIDOS_PARA_APLICACAO_EM_MANUFATURA_FORMATIVA_PAPER_ADDITIVE_AND_SUBTRACTIVE_MANUFACTURING_IN_THE_CONSTRUCTION_OF_HYBRID_MECH

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/view

MGBEMENA, C. *et al.* Development of an IoT-based real-time remote monitoring device for the maintenance of injection moulding machines in plastic industries. UNIZIK Journal of Engineering and Applied Sciences, v. 2, n. 1, p. 260–278, jun. 2023. Disponível em:

www.researchgate.net/publication/371990820_Development_of_an_IoT-based_real-time_remote_monitoring_device_for_the_maintenance_of_injection_moulding_machines_in_plastic_industries.

M&S Industrial, Máquina Injetora de Plástico (Figura 1), 2025. Disponível em: mesindustrial.com.br/injetora

PECH, M. *et al.* Predictive maintenance and intelligent sensors in smart factory: review. *Sensors (Basel)*, v. 21, n. 4, p. 1470, 2021. Disponível em: [pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7923427](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7923427).

SETIAWAN, I. *et al.* A Systematic Literature Review of Key Performance Indicators (KPIs) Implementation. *International Journal of Innovation in Enterprise System*, v. 4, n. 2, p. 53–63, 2020. Disponível em: www.researchgate.net/publication/345941517_A_Systematic_Literature_Review_of_Key_Performance_Indicators_KPIs_Implementation

VELIMIROVIĆ, D. *et al.* Role and Importance of Key Performance Indicators Measurement. *Serbian Journal of Management*, v. 5, n. 1, p. 63–72, 2010. Disponível em: www.researchgate.net/publication/50373240_Role_and_importance_of_key_performance_indicators_measurement